

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Школа – Инженерно-ядерной технологии  
Направление подготовки 03.03.02 «Физика»  
Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы	
<b>Проникновения водорода в титан из сред разного агрегатного состояния</b>	
УДК 669.295:669.788	

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Чжан Тяньюань		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОФ ФТИ	Никитенков Николай Николаевич	д. ф.-м.н., с.н.с		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ШИП	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ТПУ	Ларионова Екатерина Владимировна	к.х.н		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой общей физики	Лидер Андрей Маркович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2018 г.

## Запланированные результаты обучения по программе

<b>Код результата</b>	<b>Результат обучения (выпускник способен)</b>	<b>Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон</b>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
<b>P1</b>	Использовать основные этапы и закономерности исторического развития общества, основы философских, экономических, правовых знаний для формирования мировоззренческой, гражданской позиций и использования в различных сферах жизнедеятельности	Требования ФГОСЗ+ (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОК-4)
<b>P2</b>	К самоорганизации и самообразованию, работать в коллективе, к коммуникации в устной и письменной формах, в том числе на иностранном языке, толерантно воспринимать социальные, этические и культурные различия, использовать методы и средства физической культуры, приёмы первой помощи и методы защиты в условиях ЧС.	Требования ФГОСЗ+ (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-8, ОК-9)
<i>Общепрофессиональные компетенции</i>		
<b>P3</b>	Использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, современные концепции и ограничения естественных наук, использовать фундаментальные знания разделов общей и теоретической физики, математики для создания моделей и решения типовых профессиональных задач, в том числе с использованием знаний профессионального иностранного языка.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-1, ОПК-2, ОПК-3, ОПК-7)
<b>P4</b>	Понимать сущность и значение информации, соблюдать основные требования информационной безопасности, использовать методы, способы, средства получения и хранения информации, решать стандартные задачи на основе информационной и библиографической культуры.	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6)
<b>P5</b>	Получить организационно-управленческие навыки при работе в научных группах, критически переосмысливать накопленный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, нести ответственность за последствия	Требования ФГОСЗ+ (ОПК-8, ОПК-9)

	своей инженерной деятельности.	
<i>Профессиональные компетенции</i>		
<b>Р6</b>	<u>Научно-исследовательская деятельность</u>  Проводить научные теоретические и экспериментальные исследования в областях: материаловедения, атомной и ядерной физики, водородной энергетики, физики плазмы с помощью современной приборной базы с использованием специализированных знаний физики и освоенных профильных дисциплин.	Требования ФГОС3+  (ПК-1, ПК-2)
<b>Р7</b>	<u>Научно-инновационная деятельность</u>  Применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований, а также профессиональные знания и умения в результате освоения профильных дисциплин для проведения физических исследований в инновационных областях науки, используя современные методы обработки, анализа и синтеза информации.	Требования ФГОС3+  (ПК-3, ПК-4, ПК-5)
<b>Р8</b>	<u>Организационно-управленческая</u>  Использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований, участвовать в подготовке и составлении научной документации по установленной форме, понимать и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС3+  (ПК-6, ПК-7, ПК-8)
<b>Р9</b>	<u>Педагогически-просветительская</u>  Проектировать, организовывать, анализировать педагогическую деятельность, владеть последовательностью изложения материала с использованием междисциплинарных связей физики с другими дисциплинами, участвовать в информационно-образовательных мероприятиях по пропаганде и распространению научных знаний	Требования ФГОС3+  (ПК-9)



	<p>методом термостимулированного газовыделения (ТСГВ).</p> <p>6. Обрабатывать результаты исследований с использованием пакета программ Origin- 9 Pro.</p> <p>7. Сделать выводы о влиянии сред разного агрегатного состояния на проникновения водорода и механизмы захвата водорода.</p>
<p><b>Перечень графического материала</b> (с точным указанием обязательных чертежей)</p>	<p>1. Схема установки для насыщения водородом из газовой фазы</p> <p>2. Схема установки для электролитического наводороживания металлов</p> <p>3. Схема установки для насыщения образцов из водородной плазмы</p> <p>4. Схема установки для исследования термостимулированного газовыделения</p> <p>5. Принципиальная схема установки RHEN602.</p> <p>6. Графики зависимостей выхода газов из металлов от температуры образцов</p>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)</p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Ларионова Екатерина Владимировна, доцент ЭБЖ ИНК
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Черепанова Наталья Владимировна, доцент МЕН ИСГТ
Иностранный язык	
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	06.02.2018
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЭФ ИШЯТ	Никитенков Николай Николаевич	Д.ф.-м.н., с.н.с.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Чжан Тяньюань		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Чжан Тяньюань

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	Экспериментальная физика
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Физика

#### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p><i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <p>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</p> <p>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</p> <p>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</p> <p>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</p>	<p>1. При работе на установке «ТСГВ» на работников возможно воздействие следующих вредных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Производственный шум;</li> <li>– Микроклимат.</li> <li>– Освещенность.</li> </ul> <p>А также опасных факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Электрическое напряжение.</li> <li>– Пожаровзрывоопасность.</li> </ul>
<p><i>2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>По данной теме рассматриваются следующие законодательные и нормативные документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.</li> <li>– Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013).</li> <li>– СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение". Утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. N 18-78.</li> <li>– СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Минздрав России, Москва. – 1996.</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России, Москва. – 1997.</li> <li>– ГОСТ 12.1.002-84. Электрические поля промышленной частоты. Допустимые уровни напряженности и требования к проведению контроля на рабочих местах. Издательство стандартов, Москва. – 1984.</li> <li>– ГОСТ 12.1.006-84. Система стандартов безопасности труда. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.</li> <li>– ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда.</li> <li>Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.</li> <li>– Федеральный закон Российской Федерации от</li> </ul>

	21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 12.03.2014) "О пожарной безопасности". – Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)	1. Характеристика факторов изучаемой производственной среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой: – Воздействие электрического напряжения на организм человека; – Воздействие высокой температуры на организм человека; – Воздействие химических веществ на дыхательные пути и организм человека в целом; – Утечка газа из баллона; – Микроклимат.
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)	2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды: – электробезопасность (непосредственное питание установки от сети постоянного тока 220 В; средства защиты, предусмотренные конструкцией установки, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе); – термическая опасность (печь нагрева образцов; защита специальной конструкцией установки, изолирующие слои, соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки); – пожаровзрывобезопасность (баллоны с газом; соблюдение правил безопасности и эксплуатации установки).
3. Охрана окружающей среды: – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду: – Выброс в атмосферу рабочего газа; – Выброс в атмосферу химических веществ;
4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – перечень возможных ЧС на объекте; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий	4. Защита в чрезвычайных ситуациях: – Утечка газа из баллона; – Возникновение возгорания; – Поражение оператора установкй электрическим током; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	5. Правовые вопросы обеспечения безопасности
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	1. Схема расположения оборудования; 2. План размещения светильников на потолке

	рабочего помещения.
--	---------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД ТПУ	Ларионова Екатерина Владимировна	к.х.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
150Б41	Чжан Тяньюань		



# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

**Студенту:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
150Б41	Чжан Тяньюань

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение</b>	<b>Экспериментальная физика</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Физика

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Определение стоимости ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых информационных и человеческих</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Знакомство и отбор норм и нормативов расходования ресурсов</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Знакомство с системой налогообложения, со ставками налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсосбережения</i>	<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет.</i>
<i>3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической составляющей</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<i>1. Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
<i>2. Матрица SWOT</i>
<i>3. График проведения и бюджет НИ</i>
<i>4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ШИП	Черепанова Наталья Владимировна	к.ф.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
150Б41	Чжан Тяньюань		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа – Инженерно-ядерной технологии

Уровень образования бакалавриат

Направление подготовки 03.03.02 «Физика»

Отделение школы (НОЦ) Экспериментальной физики

Период выполнения \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

<b>бакалаврская работа</b>
(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:		
<b>Дата контроля</b>	<b>Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)</b>	<b>Максимальный балл раздела (модуля)</b>
01.03.2017	Аналитический обзор литературы	15
01.09.2017	Исследование выхода водорода из сплава ВТ1-0 при электролитическом насыщении. Анализ результатов	15
30.12.2017	Исследование выхода водорода из сплава ВТ1-0 при насыщении из плазмы. Анализ результатов	20
30.04.2018	Исследование выхода водорода из сплава ВТ1-0 при насыщении методом Сиверта. Анализ результатов	15
25.05.2018	Социальная ответственность	15
25.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
25.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор ОЭФ ИЯТШ ТПУ	Никитенков Н.Н.	д.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

<b>Руководитель ООП</b>	<b>ФИО</b>	<b>Уч. степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Руководитель ОЭФ	Лидер А.М.	д.т.н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 76 с., 13 рисунка, 12 таблиц, 28 источника.

Ключевые слова: водород, титан, электролиз, плазма, Сивертс, термостимулированное газовыделение, водородные ловушки,

Объектом исследования являлось проникновение водорода в титан.

Цель работы - Исследовать проникновение водорода в титан методами Сивертса, электролитическим и плазменным.

Научная новизна: Проведены исследования проникновения водорода в титан из сред разного агрегатного состояния. Различные агрегатные состояния моделировались известными методами насыщения металлов водородом: Метод Сивертса – агрегатное состояние газ, плазменный метод – водородная плазма высокочастотного разряда, электролитический метод – жидкость. Методами ТСГВ и ЛЕСО выявлены существенные различия в механизмах захвата водорода из сред разного агрегатного состояния. Для электролитического и плазменного насыщения характерен захват водорода ловушками с более высокой температурой в максимуме спектров ТСГВ (или с большей энергией связи), чем при насыщении методом Сивертса (точечные дефекты и их комплексы, дислокации с их различными модификациями, межзеренные границы, примесные атомы и др.). Для метода Сивертса характерен захват на низкотемпературные ловушки, создающиеся, по-видимому, в процессе насыщения (вакансии и вакансионные кластеры).

Таким образом, процесс накопления водорода в образцах титана существенно зависит от агрегатной среды, в которой осуществляется насыщение.

## Содержание

Введение .....	15
Глава 1. Системы «металл–водород» .....	17
1.1. Внедрение водорода в металлы .....	17
1.2. Проникновение водорода в титан.....	19
Глава 2. Способы насыщения металлов водородом .....	21
2.1. Насыщение водородом из газовой фазы при нагревании (Метод Сивертса) ....	21
2.1.1. Физический принцип.....	21
2.1.2. Схема установки для насыщения методом Сиверста .....	22
2.2. Электролитическое насыщение водородом .....	24
2.2.1. Физический принцип.....	24
2.2.2. Схема установки для насыщения электролитическим методом.....	30
2.3. Насыщение из водородной плазмы .....	31
2.3.1. Физический принцип.....	31
2.3.2. Схема установки для насыщения плазменным методом.....	31
Глава 3. Методы исследование насыщенных водородом образцов .....	33
3.1. Термостимулированное газовыделение водорода (ТСГВ) .....	33
3.2. Метод анализатора водорода RHEN602 фирма LECO.....	35
Глава 4. Эксперимент и обсуждение результатов.....	40
4.1. Подготовка образцов. ....	40
4.2. Проведение измерений .....	40
4.2.1. Порядок измерений ТСГВ .....	40
4.2.2. Порядок измерений LECO .....	41
4.3. Результаты и обсуждение.....	41

4.3.1. Сравнение температурных спектров выхода водорода и водород-содержащих молекул при ТСГВ титана, насыщенного разными методами .....	42
4.3.2. Сравнение интегральных выходов ТСГВ водорода и водород-содержащих молекул при ТСГВ титана, насыщенного разными методами.....	45
Выводы .....	46
Глава 5. Социальная ответственность .....	48
5.1. Вредные факторы проектируемой производственной среды .....	48
5.1.1. Производственный шум .....	49
5.1.2. Микроклимат.....	49
5.1.3. Расчет искусственной освещенности .....	50
5.2. Выявление опасных факторов проектируемой производственной среды .....	53
5.2.1. Электро-безопасность .....	53
5.2.2. Пожар взрывобезопасность .....	54
5.3. Охрана окружающей среды .....	56
5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях .....	56
5.5. Правовые вопросы обеспечения безопасности .....	58
Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение ....	59
6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения.....	59
6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	59
6.1.2. Анализ конкурентных технических решений.....	59
6.2. Планирование научно-исследовательских работ.....	62
6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования .....	62
6.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ .....	64
6.2.3. Разработка графика проведения научного исследования.....	64
6.3. Бюджет научного исследования .....	68
6.3.1. Расчет материальных затрат НТИ.....	68

6.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы .....	69
6.3.3. Отчисления на социальные нужды .....	70
6.3.4. Накладные расходы .....	70
6.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	71
Список использованных источников .....	73

## Введение

Данная работа посвящена изучению влияние агрегатного состояния окружающей среды на накопление водорода в титане.

**Актуальность** проблемы обусловлена следующим.

Титан является одним из наиболее важных конструкционных и функциональных материалов во многих отраслях науки и промышленности. Изделия из титана эксплуатируются в разных (по агрегатному состоянию) средах (в ядерных и термоядерных реакторах; в морской воде, являющейся по существу электролитом, в атмосфере при разных температурах и давлении).

В данной работе сравниваются процессы и механизмы накопления водорода в титане из сред разного агрегатного состояния, поскольку накопление водорода в конструкционных и функциональных материалах, которое, в конечном счете, может приводить к разрушению конструкций, существенно зависит от того, в каких средах эти конструкции функционируют [1, 2]. Таким образом, выявление различий в механизмах накопления водорода из сред разного агрегатного состояния способствует прогнозированию поведения конструкций и устройств при их эксплуатации и, конечном счете, прогнозированию их водородного охрупчивания и разрушения. В качестве устройств, моделирующих разные агрегатные среды, использовались установки ОЭФ ИШЯТ ТПУ для насыщения методами а) Сиверкса (в водородной атмосфере при повышенных давлениях и температуре), из плазмы высокочастотного разряда (при низких давлениях и повышенной температуре), в электролитической ячейке при подобранной плотности тока электролиза.

Результаты представляемых исследований важны также с точки зрения накопления, сбережения, транспортировка и хранение водорода с целью использования его как топлива.

**Цель научной работы:** Исследовать проникновение водорода в титан методами Сиверкса, электролитическим и из плазмы, которые, по-существу, моделируют, соответственно, газообразное, жидкое и плазменное агрегатное состояние вещества.

Для достижения данной цели поставлены следующие **задачи**:

1. Подготовить образцы для исследований.
2. Насытить образцы титана водородом тремя методами (Сивертса, электролитическим и из плазмы высокочастотного разряда (ВЧР) в заданных (предварительно подобранных режимах) режимах.
3. Определять содержание водорода после насыщения каждым методом, используя анализатор водорода RHEN-602.
4. Измерить температурные спектры газовыделения водорода и водород содержащих соединений методом термостимулированного газовыделения (ТСГВ).
5. Обрабатывать результаты исследований с использованием пакета програм Origin- 9 Pro.
6. Сделать выводы о влиянии сред разного агрегатного состояния на проникновения водорода и механизмы захвата водорода.



## Глава 1. Системы «металл–водород»

### 1.1. Внедрение и диффузия водорода в металлы

Будучи самым легким химическим элементом, водород обладает наибольшим коэффициентом диффузии. Особенно велика его способность диффундировать при повышенном давлении и высоких температурах [3, 4]. Поэтому работа с водородом в таких условиях чревата значительными трудностями.

В настоящее время известно, что диффузия водорода в металле взаимодействует с различными дефектами, содержащимися в реальных твердых телах [5]. Наличие таких взаимодействий приводит к изменению параметров растворения и диффузии, зависимости эффективных коэффициентов диффузии от давления водорода и толщины образца, времени диффузии и тому подобного.

Реальные твердые тела никогда не имеют однородной структуры и, как правило, содержат широкий спектр дефектов. Поэтому при создании даже самой простой теории диффузии в двухкомпонентной системе, содержащей один тип дефектов, необходимо учитывать плотность дефектов, энергетические характеристики (глубина потенциальной ямы), геометрию и размер дефекты, их пространственная ориентация и т. д. [1, 3, 6]. Кроме того, микроструктура существенно зависит от температуры образца и может меняться при внешних воздействиях (механическая деформация) или в процессе твердофазных процессов (фазовые переходы) [7, 8]. Решение таких проблем на практике представляет собой сложную задачу и ограничивается построением простых математических моделей, известные подходы представлены в [9, 10]. Основной особенностью диффузии водорода из диффузии других более тяжелых атомов (N, C, O) является низкая энергия активации и квантовая природа диффузии, проявляющаяся в широком температурном диапазоне.

При температурах выше комнатной температура начинает появляться классический механизм сверхбарьерной диффузии атомов, согласно которому переход междоузельного атома в единицу времени

$$\Gamma = \frac{1}{\tau} \exp\left(\frac{U}{kT}\right), \quad (1.1)$$

где  $\tau^{-1}$  – частота колебаний внедренного атома,  $U$  – энергия активации, равная разнице энергий в «седловой», «перевальной» точке и потенциальной энергии атома водорода в междоузлии. При тепловой энергии выше энергии активации диффузия водорода в твердом теле, подобна диффузии атомов в жидкости или газе [10].

Основной особенностью диффузии в сплавах является то, что энергии междоузельных атомов и энергия активации диффузии от места к месту будут разными. Это связано с тем, что те же интерстициальные участки в сплаве имеют разные конфигурации окружающих атомов, которые различаются как по числу атомов одного вида, так и по симметрии их расположения [10, 11].

В исследованиях по диффузии в аморфных металлических сплавах [11, 12] и в нанокристаллических (НК) материалах [12, 13] отмечен ряд особенностей поведения водорода в этих системах: во-первых, растворимость водорода в аморфных сплавах чем в поликристаллических образцах того же состава. Это справедливо и для нанокристаллических материалов. Растворимость водорода в НЖК палладия может превышать в 100 раз его содержание в монокристалле [11], также может наблюдаться в титане и цирконии [13, 14, 15]. Во-вторых, коэффициент диффузии водорода в системах с НК-состоянием сильно зависит от содержания водорода в материале и быстро растет с увеличением концентрации водорода [12, 13]. При определенном содержании водорода коэффициент диффузии для НК-состояния может превышать соответствующий коэффициент для состояния с большим кристаллом. Эти особенности объясняются наличием в энергетике различных положений атомов водорода в неупорядоченных материалах. С увеличением концентрации сначала заполняются позиции с наименьшей энергией, а диффузия протекает в местах с

низкой энергией активации. В результате заполнения глубоких потенциальных ям с увеличением концентрации водорода его эффективный коэффициент диффузии возрастает [12].

Другой характерной особенностью диффузии водорода в аморфных сплавах является зависимость коэффициента диффузии от температуры в них, как правило, от закона Аррениуса [12]. Это может быть связано как с энергиями активации диффузии водорода в аморфном сплаве [16], так и с зависимостью степени ближнего порядка в сплаве от температуры [17]. Все это подтверждает тот факт, что диффузия газов в аморфных сплавах ближе к диффузии в несовершенных кристаллах, чем в жидкостях [18].

Существенной особенностью ND-систем является наличие в них размерных эффектов [16, 19], которые связаны с: размером зерна; переход к наноразмерным зернам увеличивает роль межкристаллитных дефектов; Структура границ в наноматериалах существенно отличается от поликристаллов.

## 1.2. Проникновение и состояние водорода в титан

Взаимодействие водорода с титаном приводит к образованию продукта переменного химического состава с фазами типа бертоллида. Эти фазы, в отличие от гидридов щелочных металлов, были названы «легированными» гидридами или «псевдогидридами» [19]. Предполагается [20], что образование гидридов титана обусловлено взаимодействием возбужденных или частично ионизованных атомов водорода с атомами металла. Предполагается, что в этих гидридах между атомами металла появляются «водородные мостики», аналогичные наблюдаемым в гидриде урана [16].

Кинетика изучения поглощения титана водородом при высоких температурах имеет более чем столетнюю историю. При температуре, близкой к комнатной, титан почти не возникает, а при более высоких температурах (выше 300 ° C) скорость сорбции водорода быстро возрастает и продолжает

расти вплоть до температуры плавления. После образования гидрида титана на поверхности поглощение водорода происходит с постоянной скоростью [3]. Это объясняется тем, что при образовании гидрида титана материал становится хрупким и трескается из-за возникновения в нем напряжений. Эти напряжения вызваны различием в удельных объемах гидрида и титана, в результате чего образуется пористый слой. Степень поглощения титана водородом зависит от чистоты поверхности, поэтому присутствие оксидной пленки уменьшает скорость сорбции в несколько раз [5].

В кинетике поглощения водородный титан также оказывает значительное влияние на структуру зерна, например, образец титана с мелкозернистым состоянием поглощает водород в шесть раз интенсивнее, чем образец с большим кристаллом [5, 14]. Например, если образцы с мелкозернистыми и крупнозернистыми структурами одновременно помещаются в блок насыщения водородом, то при насыщении водородом образец с мелкозернистой структурой поглощает больше водорода, чем образец с крупнозернистой структурой. Аналогичный эксперимент проводили при  $700^{\circ}\text{C}$ , давлении водорода 750 торр, концентрация водорода в мелкозернистом образце (размер зерна менее 1 мкм) составляла 0,105% (вес), а в крупнозернистом образце 0,057 % (вес) (размер зерна  $\sim 100$  мкм), что в 1,84 раза меньше [13, 21].

Кинетика поглощения водорода титаном также зависит от формы зерна. Титан, состоящий из удлиненных зерен, в несколько раз быстрее поглощает водород, чем титан, который имеет эквивалентную структуру [22].

## Глава 2. Способы насыщения металлов водородом

В настоящей главе описаны лабораторные методы насыщения материалов водородом для исследования поведения водорода в материалах в зависимости от параметров насыщения. Рассмотрены методы насыщения из сред разного агрегатного состояния: а) водородной (газовой) атмосферы, б) из жидкости (электролитический способ) и в) из плазмы высокочастотного разряда

### 2.1. Насыщение из газовой фазы при нагревании, под давлением (Метод Сиверста)

#### 2.1.1. Физический принцип

Способ взаимодействия с водородом металла включает в себя множество последовательных этапов (адсорбция, поглощение и диффузия к решетке), эффекты которых могут быть существенно изменены при различных условиях. Если вся внешняя поверхность образца контактирует с водородом, а металл не встречается в обычной решетке, ее вогнутость и выпуклость (пузырьки, пустоты, вакансии). Тогда обработка заданного временного интервала взаимодействия при заданной температуре приведет к равномерному насыщению металла. Это обеспечит равномерное распределение водорода между металлом и окружающей средой [22].

**Титан.** Когда титан нагревается в атмосфере водорода, он поглощает водород до достижения равновесных концентраций в зависимости от давления водорода в атмосфере. Это указывает на то, что было достигнуто равновесное распределение водорода между газовой фазой и металлом, когда

$$[Hx]_{Ti} = K \sqrt{P_{H_2}} \quad (2.1)$$

где

$[Hx]_{Ti}$  – концентрация водорода в твердом растворе;

$K$  – коэффициент распределения водорода.

$P_{H_2}$  – давление водорода в газовой фазе;

Скорость поглощения водорода становится значимой при температурах выше  $300^\circ C$  и быстро увеличивается с дальнейшим повышением температуры. При этих температурах на поверхности титана образуется гидрид титана, а после образования абсорбция водорода происходит с постоянной скоростью. Если оксидная пленка присутствует на поверхности, скорость поглощения водорода титаном резко уменьшается (но не полностью).

**Стали.** При комнатной температуре и атмосферном давлении гидрирование в газообразной среде фактически не происходит. Повышение температуры до температуры плавления при атмосферном давлении делает растворимость водорода относительно малой: когда два фактора одновременно возрастают, концентрация водорода, вводимого в сталь из газовой фазы, может стать очень высокой. Растворимость водорода в железе при атмосферном давлении и  $500^\circ C$  составляет 0,6 см<sup>3</sup>/100 г, что составляет  $5,3 \times 10^{-5}\%$  (мас.) Или 0,0003% (атом); По мере повышения температуры температура продолжает расти. При температуре  $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращения растворимость увеличивается прерывисто от 3,0 до 4,7 см<sup>3</sup>/100 г.

#### 2.1.2. Схема установки для насыщения методом Сиверста

На рис. 2.1 представлена установка для насыщения водородом из газовой фазы, которая состоит из: печи для нагрева образца (1), блок управления системой отопления, вакуум и водород (2) и камера (3) для нагрева и насыщения образцов водородом.

Суть этого метода состоит в том, чтобы заполнить объем 3 образца чистым водородом. Затем нагрейте образец и увеличьте давление водорода. Одной из особенностей этого метода является то, что рабочий объем необходимо закачивать в высокий вакуум, прежде чем подключать его к магистральной



**Рис. 2.1. Установка для насыщения водородом из газовой фазы (по методу Сивертса) [2].**

1 – печь, для нагрева образца; 2 – блок управления системой нагрева, получения вакуума и подачи водорода из баллона, 3 – камера для нагрева и насыщения образца водородом.

трубе. При комнатной температуре и атмосферном давлении гидрирование в таких устройствах фактически не происходит. Повышение температуры до температуры плавления при атмосферном давлении относительно увеличивает растворимость водорода: при одновременном увеличении обоих факторов концентрация водорода, вводимого в металл из газовой фазы, может стать очень высокой. Например, в железе она может составить  $5,3 \times 10^{-5} \%$  (вес.) или 0,0003% (атом.).

## 2.2. Электролитическое насыщение металлов водородом

### 2.2.1. Физический принцип

Гидрирование в катодной поляризации электролита (электролитическое гидрирование) аналогично высокотемпературному гидрированию, а благодаря ионам водорода поляризованного металлического стента его действие аналогично действию диссоциированного водорода при высоких температурах и ионизации на поверхности металла. Выбор концентрации электролита и плотности тока может быть достигнут путем концентрации ионов водорода на катоде относительно этого гидрирования, то есть очень высокой температуры при комнатной температуре при эквивалентном или атмосферном давлении 100 000 атмосфер давления. Кроме того, электрическое поле помогает более интенсивно вводить водород в решетку металла.

Наличие молекулярного водорода в микропустотах не может предотвратить проникновение новых атомов водорода в резервуар, так как они очень малы в этой концентрации резервуара. Если диффузия не прекращается, процесс приводит к огромному нарастанию давления в коллекторе, потому что молекулы водорода не могут диффундировать обратно в решетку (размер молекулы водорода больше, чем размер протона на пять порядков). Это явление называется «эффектом ненасыщения». Естественно, что в этом случае общее содержание водорода в металле во много раз превышает количество водорода, растворенного в металлической решетке, а именно микро-пустоты напряжения и деформации материала и других факторов от присутствия и природы металла, Определяется объем структуры.

В микроскопическом масштабе распределение водорода также неравномерно. Неравномерное распределение растворенного водорода (с микроскопическим масштабом) определяется распределением напряжений в металле. Субмикроскопический масштаб наблюдается как неоднородное



распределение растворенного водорода, которое сосредоточено вокруг элементарного дефекта решетки в центре Коттрелла, дислокаций

Электролиты, используемые для электролиза воды, должны обладать более высокой электропроводностью и уменьшать потери напряжения для преодоления омического сопротивления электролита и ионов в ячейке, чтобы способ мог протекать только от катодного газа и газообразного водорода к аноду с образованием кислорода. Для этого электролит должен быть свободным, и образовавшиеся ионы других продуктов для электролиза могут выделяться на электродах.

Сила гидрирования металлов и сплавов при электролизе определяется следующими факторами:

- Состав и условия электролита;
- Состояние и форма богатых водородом поверхностных материалов;
- химический состав и структура материала;
- Напряжение и деформация существуют;
- время гидрирования;
- Условия для предотвращения десорбции водорода.

Первой группой факторов является концентрация водорода в состоянии, пригодном для диффузии в сталь, т. Е. В виде атомов или ионов.

Плотность тока во время гидрирования определяет интенсивность миграции ионов водорода на катод. По мере увеличения эффективности насыщения водорода ( $D_K$ ) он увеличивается и достигает максимума в зависимости от условий эксперимента при плотности тока  $0,01-0,1 \text{ A/m}^2$ . Дальнейшее увеличение  $D_K$  не увеличивает поглощение водорода из-за поверхностного металла, но также образует в нем сплошную полосу пузырьков водорода, что ограничивает гидрирующую способность катода, которая препятствует контакту с металлом электролитом.

Вторая группа факторов, влияющих на интенсивность гидрирования, относится к состоянию поверхности металла, а также к форме и расположению гидрирования образца.

Диффузия металлических водородов и их растворимость в них зависят от поверхностного состояния богатого водородом металла из-за диффузии газа с адсорбцией поверхности металла и установления адсорбированного газа металла на металлической поверхности и концентрации на закрытом валике. Спустя некоторое время после начала диффузионного баланса. Чем выше концентрация водорода, адсорбированного на поверхности металла, тем больше она растворяется в ней.

Адсорбция, ионы водорода определяют, что они диффундируют в кристаллическую решетку металла. Ионы, адсорбированные из раствора, накопленного на поверхности металлической поверхности, имели максимальную адсорбционную способность, то есть где дислокации покинули поверхность, а граничная поверхность образовывала беспорядок и тому подобное.

После того, как поверхность металла вытравлена или после скейлинга поверхности, диффузия происходит с большей скоростью, чем полированная поверхность, благодаря лучшей адсорбции водорода с окисленной поверхностью. Гидрирование металлов также зависит от поверхностного загрязнения, поскольку адсорбция некоторых органических поверхностно-активных веществ значительно снижает адсорбцию ионов водорода и, таким образом, диффундирует в объем металла. Следует отметить, что катодная поляризация металла разрушает адсорбционную пленку этих загрязняющих поверхностно-активных веществ, что также способствует гидрированию,

Геометрия образца и его расположение относительно источника иона водорода (анода) также влияют на прочность гидрирования, а горизонтальная компоновка на анодной сборке делает добавление угла гидрирования выше угла гидрирования. Следует иметь в виду, что этот эффект может быть устранен во времени.

Третья группа факторов, влияющих на гидрирование, включает химический состав и структуру металла. Химический состав и структура металла влияют на диффузию водорода через металл, его растворимость в

металлической решетке, во многом определяется способностью металла поглощать водород.

Поглощение металлического водорода в основном зависит от структуры дефектов решетки и этих резервуаров, где она может накапливать присутствие молекулярного водорода или его соединений. Поэтому они обычно имеют большое количество дефектов решетки, а структура большого количества коллекторов обычно поглощает больше водорода.

Деформация решетки и развитие дислокаций и вакансий сильно влияют на гидрирование в процессе

Следует различать три возможные ситуации гидрирования:

- 1) гидрирование металла с недеформированной решеткой;
- 2) с искажением решетки, например, металлическими заклепками (холодная деформация) гидрированием металла;
- 3) Гидрирование при деформации металла.

Во всех трех случаях интенсивность различных гидрирования возрастает от первой до третьей.

В дополнение к искажению решетки это всегда увеличивает способность поглощать водород, а холодная деформация металла также вызывает изменение состояния внутреннего поля металлического микроскопа (головки). Этот эффект может быть различным в зависимости от характера деформации и может приводить к увеличению или уменьшению объема резервуара, и, следовательно, способность стали поглощать водород увеличивается или уменьшается.

Время, затрачиваемое на диффузию водорода через образец металла, зависит от природы среды, из которой происходит гидрирование, качества металла и толщины образца. Зависимость глубины гидрирования от травления является параболической, а скорость диффузии водорода металла уменьшается с временем травления:

$$x = \sqrt{2\rho\tau}, \quad (2.2)$$

где  $x$ - глубина проникновения водорода и  $\tau$ - время.

**Титан.** Предпосылкой для гидрирования в присутствии воды в присутствии титана в процессе выделения ионов водорода. Наличие внешних или внутренних напряжений ускоряет гидрирование и может привести к образованию трещин и хрупких металлов.

Ионы водорода во время катодной поляризации поглощения водорода или процесса выгрузки титана состоят из последующих диффузионных атомов с частью атомов водорода внутри металла. Из-за низкой растворимости водорода при катодной поляризации при комнатной температуре (0,002 мас.%) И низкого коэффициента диффузии ( $D_{\alpha Ti} \approx 2 \cdot 10^{-11} \text{ см}^2/\text{с}$ ) в чистых гидридных слоях на титановых или вытравленных поверхностях  $\gamma$ -фазы встречаются в гидридных слоях толщиной 5 ... 7 мкм. Это происходит при длительном удерживании кислого титана, наблюдаемого непосредственно в титановой секции микроскопа. Размер и форма микрофильтров также оказывают значительное влияние на кинетику поглощения водородного титана, а отношение водорода, имеющего определенное поглощение структуры зерен, удлиненных в несколько раз быстрее, уже было равноосной структурой.

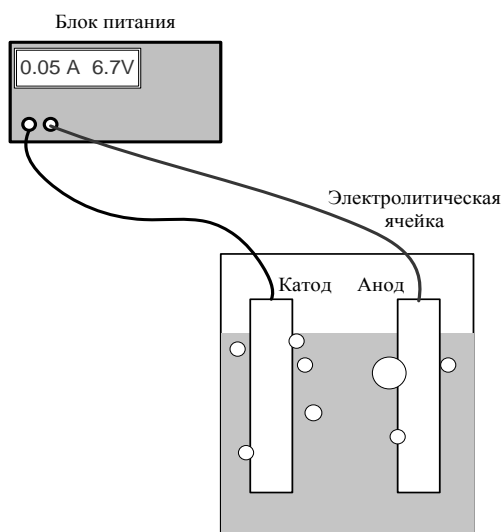
**Стали.** Процесс гидрирования катоднополяризованной стали с электролитом (электролитическое гидрирование) аналогичен процессу гидрирования с высокой температурой, и поскольку водородный газ выделяется ионами металлов, его эффект аналогичен водородному эффекту и диссоциирует при высокой температуре и ионизуется на поверхности металла. Выбирая концентрацию электролита и плотность тока, можно достичь концентрации ионов водорода на катоде, что соответствует давлению в тысячу атмосфер относительно гидрирования при комнатной температуре или очень высоких температурах при атмосферном давлении. Однако следует иметь в виду, что электрическому полю способствует введение большего количества водорода в металлическую решетку.

Наличие молекулярного водорода в микрополе не препятствует проникновению новых атомов водорода в резервуар, поскольку их

концентрация в резервуаре все еще мала. Если диффузия не прекращается, обработка приводит к огромному давлению в коллекторе, поскольку молекулы водорода не могут диффундировать обратно в решетку (размер молекул водорода превышает протон на пять порядков). Поэтому описанное явление называется «эффект насыщения ловушки». Конечно, в этом случае общим содержанием водорода в металле является количество водорода, растворенного в металлической решетке, это объемная структура металлического микротодова, наличие и характер напряжения и деформации материала и другие факторы, которые Определение будет рассмотрено более подробно ниже.

В микроскопическом масштабе распределение водорода также неравномерно. Распределение водорода внутри частиц стали неоднородно, увеличение концентрации водорода вокруг зерна и «межзеренного материала» обусловлено условиями кристаллизации стали и распределением субмикроскопических дефектов металла. Неравномерное распределение растворенного водорода (с микроскопическим масштабом) определяется распределением напряжений в металле. Это явление особенно важно, когда заготовка загружается и во время ее деформации, с перераспределением напряжения и развитием трещин. Верхняя субмикрометральная шкала также наблюдает за неоднородным распределением растворенного водорода, а затем концентрируется на основных дефектах решетки - дислокациях как последней облака Коттрелла, где они отличаются от ядерных облаков, которые могут быть внутренне дислоцированы протонами молизования. Эта характеристика водорода играет решающую роль в снижении пластичности стали, хрупкости водорода и других свойств стали из-за гидрирования.

### 2.2.2. Схема установки для насыщения электролитическим методом



**Рис. 2.2.** Схема установки для электролитического наводороживания металлов [2].

Схема установки электролитического введения водорода в металлы и сплавы показана на рис. 2.2. Электрохимическая ячейка для электрохимических образцов, насыщенных водородом, представляет собой примерный монтажный блок из платины и анода источника постоянного тока GPS-1830D. Катод в электролитической ячейке представляет собой образец, насыщенный водородом.

Принцип работы выпрямленного источника питания GPS-1830D основан на напряжении питания, подаваемом трансформатором, и проходит через схему мониторинга и управления мостового полноволнового выпрямителя и блока фильтра, за которым следует последовательный стабилизатор. Выпрямленное напряжение через стабилизатор входит в зазор и устанавливает управляющий ток и напряжение с помощью схемы сравнения выходного тока и напряжения. Сигнал обратной связи стабилизатора управляется дифференциальным сигналом, генерируемым усилителем мощности.

Выходной ток плавно регулируется от 0 до номинального значения. Допустимый основной предел погрешности для задания выходного тока не превышает  $\pm (0.5 \times 10^{-2} \times I_{\text{уст.}} + 2 \times N)$ , где  $I_{\text{уст.}}$  – уставка выходного тока,  $N$  – дисперсия измерения выходного тока (10 мВ). Нестабильность выходного тока,

будь то изменение напряжения питания или изменение напряжения на нагрузке, составляет  $\leq 0.2 \times 10^{-2} \times I_{уст.} + 3$  мА. Уровень пульсаций выходной мощности:  $\leq 3$  мА ср.кв. значение.

## 2.3. Плазменное насыщение металлов водородом

### 2.3.1. Физический принцип

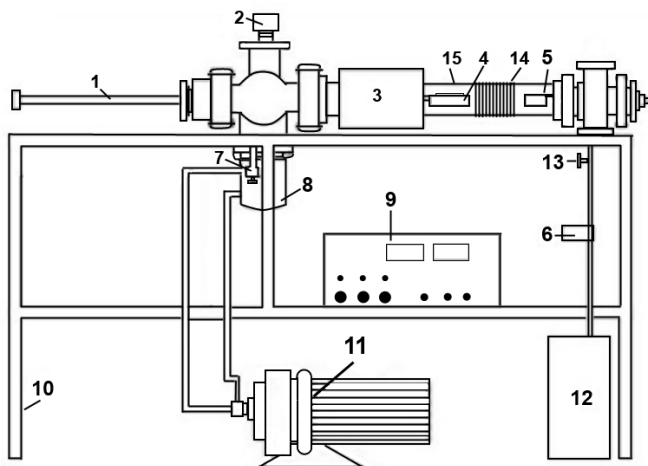
Первоначально образец нагревается в молекулярном водороде до температуры 450-500 ° С, а затем начинается разряд (атомизация и ионизация атомов водорода). Затем образец насыщается атомарным водородом в течение периода времени, а концентрация атомов водорода над поверхностью образца составляет  $\sim 10^{14} \text{ см}^{-3}$ , что может варьироваться от эксперимента к эксперименту в том же порядке. Затем разряд отключали и образец охлаждали в молекулярном водороде до комнатной температуры.

### 2.3.2. Схема установки для насыщения плазменным методом

Насыщение водородной плазмы осуществляется на установке, схематически показанной на рис. 2.3. Секция вакуумного устройства состоит из переднего вакуумного насоса 18, высокочастотного реактора 19, в который помещается в испытательный образец 31 (кварцевое стекло), производственную систему (12), устройство хранения для очистки и молекулярный водород (13, 14, 32) и счетчик (4), вакуумный клапан и систему соединительных труб.

Использование молибденового стекла в качестве материала для вакуумной части отдельного элемента имеет хорошие механические свойства и хорошую термостойкость. Из-за нагревания образца в зависимости от материала при высоких температурах необходимо иметь реактор из кварцевого стекла (в

некоторых случаях до  $\sim 500-700^\circ \text{C}$ ). Растительный молекулярный водород получают электролитической ячейкой 12 и собирают в резервуарах 13 и 14.



**Рис. 2.3.** Схема установки для насыщения образцов из водородной плазмы [2].

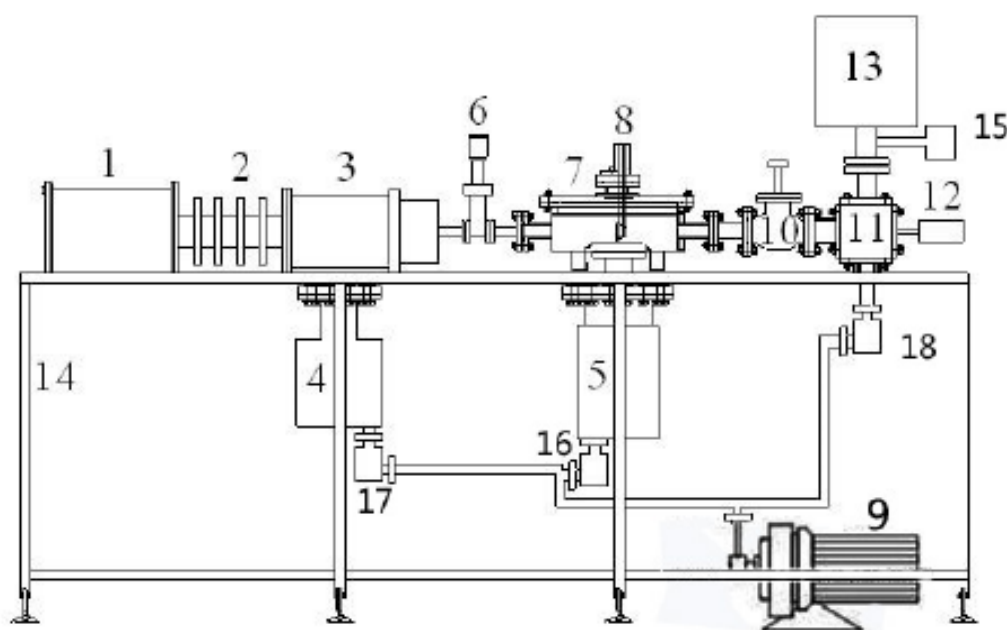
Сухая холодная ловушка 16 будет получена электролизом водорода, который помещается в колбу Дьюара, заполненную жидким азотом, и задерживается в ловушке во время накопления палладиевого фильтра 32 паром ледяной воды, подаваемой в катушку реактора, через клапаны через клапаны 10 и 11. Молекулярный кислород, удаляемый после окончания подачи, высвобождается во время работы батареи или может быть введен в резервуар 15 через ту же систему клапанов, что и Чужо, или газ, выгружаемый в атмосферу через клапан 9. Система вакуумного насоса 18 снабжена давлением  $\sim 5 \times 10^{-3}$  мм рт.ст. Ст. Вакуум измеряли вакуумным манометром 4 (ВТ-2А) от датчика 3 (РМТ-2) и использовали предварительно калиброванный датчик с использованием аббревиатуры McLeod.



## Глава 3. Методы исследование насыщенных водородом образцов

### 3.1. Термостимулированное газовыделение водорода (ТСГВ)

Установка (рис. 3.1) для изучения радиационно- и термостимулированного выхода водорода из металлов разработана сотрудниками НИ ТПУ [25]. Схемы установки предствлены на рис. 3.1, 3.2. Она размещается на цельносварной станине (14) и состоит из высоковакуумной камеры и насосов, системой нагрева и облучения электронами образцов, масс-спектрометрами. Высокий

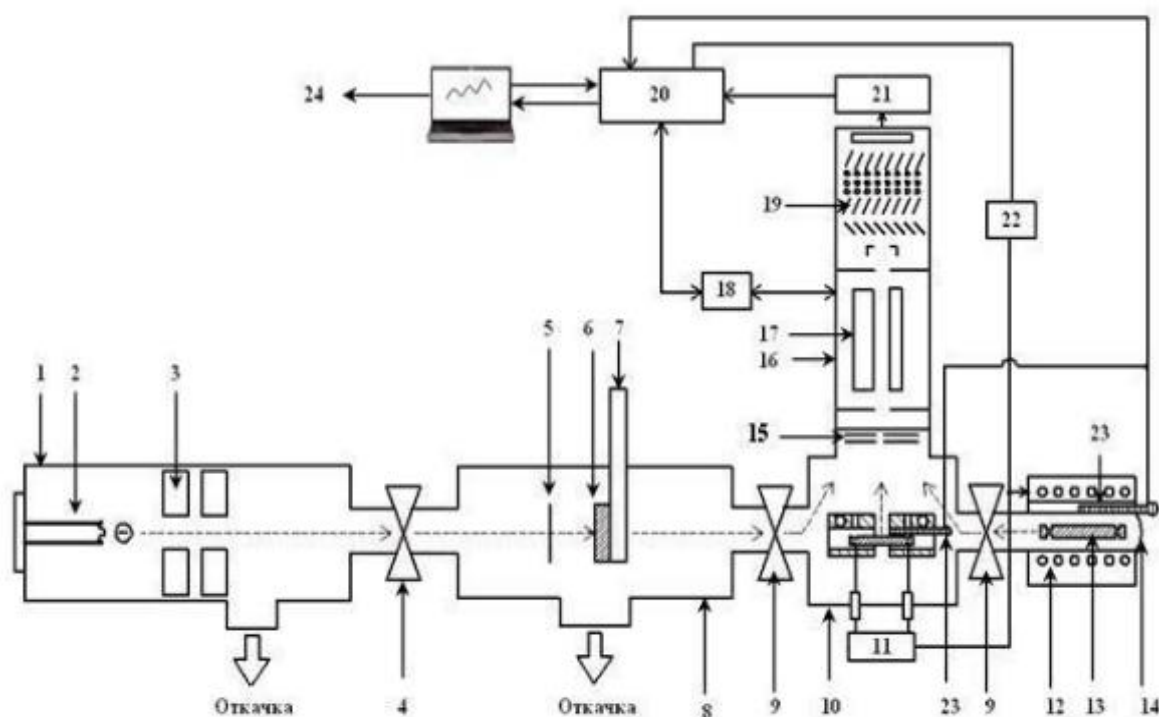


**Рис. 3.1.** Схема (внешний вид) вакуумной части установки для исследования термо- и радиационно стимулированного газовыделения: 1 – блок питания электронной пушки; 2 – изолятор электронной пушки; 3 – фокусирующая система электронной пушки; 4 – турбомолекулярный насос (Shimadzu 300); 5 – гибридный турбомолекулярный насос (ATH 300); 6 – высоковакуумный затвор; 7 – камера; 8 – ячейка для электронного и рентгеновского облучения образцов; 9 – форвакуумный насос (ISP-250 C); 10 – высоковакуумный вентиль; 11 – камера внутреннего нагрева образца; 12 – камера внешнего нагрева образца; 13 – масс-спектрометр; 14 – цельносварная станина; 15 – вакуумметр; 16, 17, 18 – магнитные клапаны.

вакуум достигается за счет: форвакуумный насос 9 (ISP-250 C), турбомолекулярных насосов 4 (Shimadzu EISO4M) и 5 (ATH 300). Вакуумная система откачки позволяет достигать минимальное давление равное  $10^{-7}$  торр, во всех аналитических камерах. Контроль вакуума осуществляется

вакуумметрами Stabil-Ion фирмы Granville-Philips. Исследование газовой выделении при линейном нагреве проводилось с помощью внешнего нагрева нихромовым нагревателем камеры 12, (нагрев до температуры  $\sim 1000^{\circ}\text{C}$ ). Внешний нагреватель 12 рис. 5 представляет собой кварцевую трубку, на которую намотана спираль из нихрома, закрытая теплоизолятором. Температура образца измеряется в камере нагрева с помощью хромель-алюмелевой термопары 23.

В камере 7 рис. 3.2 на отдельных фланцах могут размещаться (по очереди, в зависимости от задачи) либо охлаждаемый до азотных температур держатель образца (8 на рис. 3.1 и 7 на рис. 3.2), либо ячейка для изучения проницаемости



**Рис. 3.2.** Функциональная схема установки для исследования термо- и радиационно-стимулированного газовой выделении: 1 – электронная пушка; 2 – катодный блок электронной пушки; 3 – фокусирующая система электронной пушки; 4 – высоковакуумный затвор; 5 – флажок (вольфрамовая фольга для измерения тока электронов); 6 – образец для радиационно-стимулированных исследований; 7 – устройство охлаждения образца; 8 – титановая вакуумная камера; 9 – высоковакуумные вентили; 10 – камера высокотемпературного нагрева образца ( $2000^{\circ}\text{C}$  и выше); 11 – блок высокотемпературного нагрева; 12 – внешний нагреватель; 13 – образец низкотемпературного нагрева (до  $1000^{\circ}\text{C}$ ); 14 – камера внешнего нагрева; 15 – ионизатор масс-спектрометра; 16 – масс-спектрометр; 17 – квадрупольный масс-анализатор масс-спектрометра; 18 – блок управления масс-спектрометром; 19 – детектор масс-спектрометра (вторичный электронный умножитель); 20 – система автоматизации; 21 – усилитель сигнала с ВЭУ; 22 – блок внешнего нагрева; 23 – термопары; 24 – компьютер.

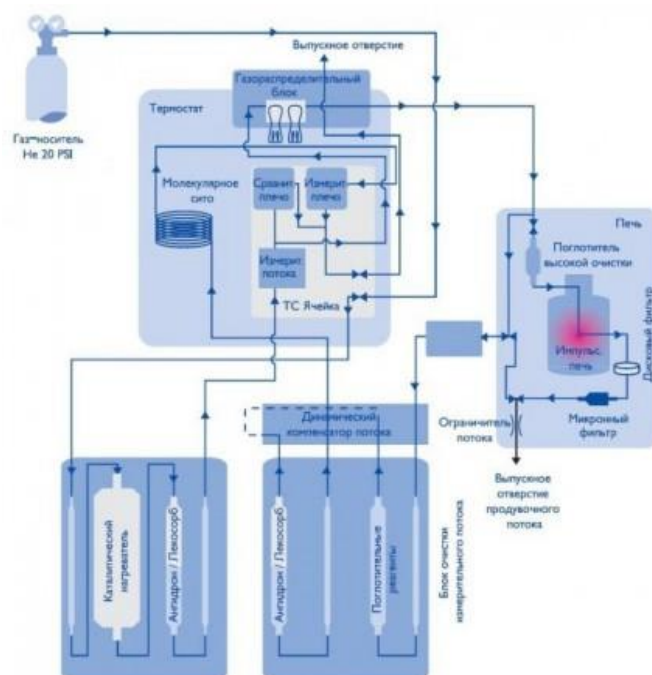
водорода через металлические мембраны. Установка оснащена системой автоматизации, управляется компьютерной программой Project (разработанной

совместно с кафедрой медицинской электроники НИ ТПУ), позволяет производить линейный нагрев образцов от 20 до 1000 °С со скоростью от 0,1 до 5 °С/с., и одновременно регистрировать температуру и данные с масс-спектрометра. Система позволяет отслеживать интенсивности до шести масс-спектров выделяющихся из образца газов в процессе электролиза и (или) облучения. Физические основы анализа зависимостей выхода водорода от температуры те же что в широко известном методе термостимулированной десорбции (ТСД) изложены в [26] (см. также [27])

### 3.2. Метод анализатора водорода RHEN602 фирма LECO

Определение абсолютной концентрации водорода в исследуемом сплаве проводилось на анализаторе LECO RHEN 602 [24]. Принцип установки основан на плавлении образца в атмосфере инертного газа. Образец с известной массой помещают в шлюзовую камеру и после демонтажа графитового тигля в него помещается образец. В качестве газа-носителя протекает аргон, который течет вокруг графитового тигля. Тигель и образец нагреваются высокочастотным генератором до температуры плавления образца. Выделенный в газообразном носителе водород очищается в потоке сорбентного газа с последующим анализом в ячейке теплопроводности. Для нагрева и плавления образцов используется импульсная печь мощностью 7,5 кВт с автоматической регулировкой тока, мощности и температуры. Система автоматического управления позволяет вам устанавливать режимы анализа водорода, начиная с режимов подготовки образца до измерения и заканчивая параметрами измерения выходящих газов.

Время анализа составляет около 10 минут, включая процедуру подготовки и анализа. Калибровка выполняется на эталонных образцах с известным содержанием водорода. Ошибка в измеренном значении составляет 0,02 ppm или 2 rel. %.



**Рис. 3.3.** Принципиальная схема установки RHEN602



**Рис. 3.4.** Схема установки RHEN602

Анализатор водорода RHEN-602 фирмы LECO, год выпуска 2008. Анализаторы фирмы LECO RHEN-602 предназначены для экспресс – анализа

содержания водорода в черных, цветных металлах, сталях и сплавах и других неорганических материалах.

**Таб. 3.1 .** Параметры оборудования:

Характеристика	RHEN602
Аналитический диапазон	от 0.05 до 250 ppm
Время анализа	420 секунд (7 минут) включая продувку, дегазацию и анализ
Точность	0.02 ppm
Калибровка	По стандартным образцам По нескольким точкам Газовая доза и ручная калибровка
Детектор	Ячейка теплопроводности
Газоноситель	Аргон или Гелий
Графическая интерпретация процесса сгорания	Да
Автоматическая коррекция холостых измерений	Да
Количество аналитических методов	Не ограничено
Автоматическая компенсация атмосферного давления	Да
Дисплей	TTF 15" SVGA монитор
Автоматическая самодиагностика	Да
Сервисные функции	Да
Автоматическая сигнализация о неисправностях	Да
Автоматическая проверка газового тракта	Да
Компьютер	Внешний компьютер Pentium IV

Принтер	Да*
Встроенная база данных	Да
Статистика	Да
Передача данных	Да
Исполнение	Моноблок, печь и анализатор в одном корпусе
Печь	Импульсная печь, управляемая по току, мощности и температуре. Мощность 7500 Вт.
Предварительная горячая очистка гелия	Да
Внешние весы	Да
Калибровка по газу	Да

Анализатор RHEN602 используется для измерения водорода в большом количестве металлов и неорганических материалов с использованием принципа плавления в инертной атмосфере. Устройство использует программу, запущенную в Windows ®. Предварительно взвешенный образец помещают в шлюз и после дегазации в него сбрасывают графитовый тигель. Образец плавится в восстановительной среде графита тигля в потоке инертного газа. Водород, присутствующий в образце, высвобождается в виде молекулярного водорода, измеренного в ячейке с теплопроводностью.

Требования к образцам: максимальный размер составляет 9,5 мм в диаметре x 53 мм.

Подготовка образцов для анализа осуществляется в соответствии с нормативной документацией - MWI (процедура измерения), ТУ, ГОСТ, но общие минимальные условия заключаются в следующем: компактные образцы должны иметь чистую бесцветную поверхность без поры, оболочек и заусенцев, обрабатываются с помощью станков, (надфилем) или абразива, который не содержит соединений анализируемых (анализируемых) газов.

При изготовлении образцов нагрев металла выше 70 ° С не допускается. Масса образцов должна составлять 0,05-12,0 г для определения массовой доли водорода.

Материалы для анализа:

Стали, медь и медные сплавы, никель, кобальт и их сплавы, титан и титановые сплавы. Для алюминиевых и алюминиевых сплавов алюминиево-магниевых-марганцевых систем сотрудники LECO и АО «VILS» разработали и сертифицировали метод дробного анализа водорода. Метрологические характеристики соответствуют требованиям ГОСТ Р 50965-96.

## Глава 4. Эксперимент и обсуждение результатов

Ранее исследования различий в процессах внедрения водорода в металлы из сред разного агрегатного состояния проводились на образцах сталей [1] и палладия [28].

### 4.1. Подготовка образцов

Образцы титана, размером  $20 \times 20 \times 1$  мм вырезались из пластины титана ВТ-1 в состоянии поставки. Образцы шлифовались, полировались, обезжиривались ацетоном и промывались в деионизованной воде. После чего насыщались водородом методами Сиверста, в электролите и из плазмы. Параметры насыщения каждым методом были следующие.

В качестве электролита использовался 1М раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  на основе дистиллированной воды. Насыщение проводилось в течении 120 мин. при плотности тока  $J = 0,56 \text{ А} / \text{см}^2$ .

Насыщение образцов методом Сивертса производилось при температуре образца  $T = 400^\circ \text{С}$ , давление  $P = 2 \text{ атм.}$ , Время насыщения  $t = 2 \text{ часа}$ .

Параметры режима насыщения из водородной плазмы высокочастотного разряда (ВЧР): температура образца  $T = 150^\circ \text{С}$ , давление водорода в камере насыщения  $P = 3 \cdot 10^{-1} \text{ торр}$ , время насыщения  $t = 80 \text{ мин}$ .

### 4.2. Проведение измерений

#### 4.2.1. Порядок измерений ТСГВ

Для измерения температурных спектров ТСГВ от образцов  $20 \times 20 \times 1$  мм, отрезались пластинки  $4 \times 20 \times 1 \text{ мм}$  и загружались в камеру 14 (рис. 3.2). Далее,



осуществлялся линейный нагрев камеры 14 с помощью внешнего нихромового нагревателя 12 (рис. 3.2) (нагрев до температуры  $\sim 1000$  °C). Внешний нагреватель 12 представляет собой кварцевую трубку, на которую намотана спираль из нихрома, закрытая теплоизолятором. Температура образца измеряется в камере нагрева с помощью хромель-алюмелевой термопары 23. Регистрация спектров ТСГВ производилась монопольным масс-спектрометром 16 (рис. 3.2) с использованием программного обеспечения Project1, разработанного кафедрой медицинской электроники НИ ТПУ. Программа Project1 позволяет непрерывно отслеживать интенсивности 6-ти масс, зафиксированных масс-спектрометров в зависимости от температуры. Отслеживались массы H, H<sub>2</sub>, CH, NH, O, OH.

#### 4.2.2. Порядок измерений LECO

Образцы титана размером 20×20×1 мм., вырезались из пластины марки BT1-0. Обе стороны образцов шлифовались наждачной бумагой модели 600, после чего шлифовались бумагой модели 2400. После того, как образец титановой пластины полируется до зеркальной гладкости, его промывают спиртом и помещают в пластиковые пакеты для сохранения. После насыщения каждым из методов, перед измерениями на установках ТСГВ и LECO образцы разрезали до размера 20×2×1 мм для изучения содержания и состояния водорода в образцах.

#### 4.3. Результаты и обсуждение

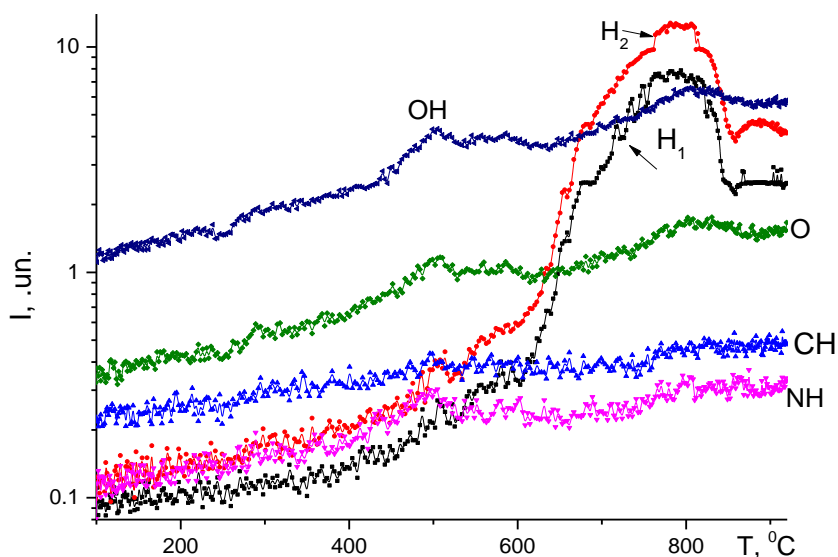
Порядок приготовления образцов приведен в разделе 4.1. Порядок измерений спектров ТСГВ в разд. 4.2.1. Порядок измерений в анализаторе водорода в начале раздела 4.2.2.

Выбранные параметры насыщения основаны на более ранних работах, исходя из критерия различия интенсивностей ТСГВ не более, чем на порядок, при насыщении одних и тех образцов тремя рассматриваемыми методами.

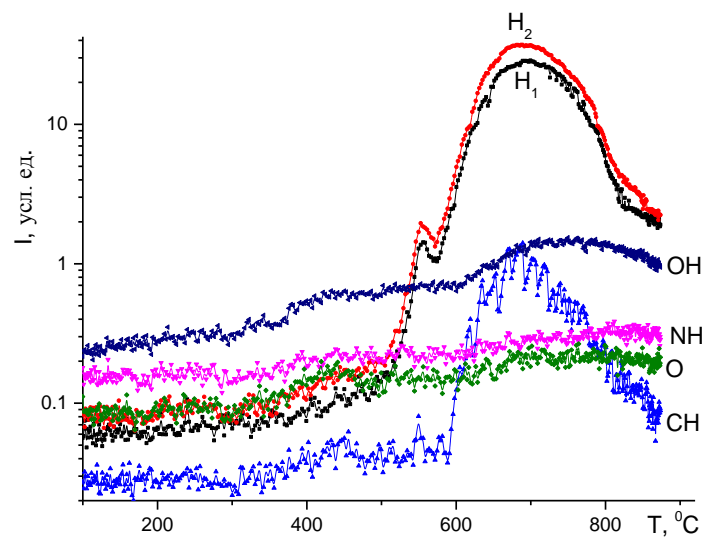
Обзорный масс-спектр и зависимости интенсивностей выделения газов из образцов записывались автоматически в файл txt с помощью программы Project1. Дальнейшая обработка полученных результатов измерений производила в программе Origin 9.

#### 4.3.1. Сравнение температурных спектров выхода водорода и водород-содержащих молекул из титана, насыщенного разными методами

На рисунках 4.1-4.3 приведены зависимости выхода атомов и молекул от температуры линейного нагрева, которые в литературе получили название – спектры термостимулированного газовыделения (ТСГВ), полученные после насыщения образцов титана 3-мя методами, описанными выше. Параметры насыщения описаны в разделе 4.1.

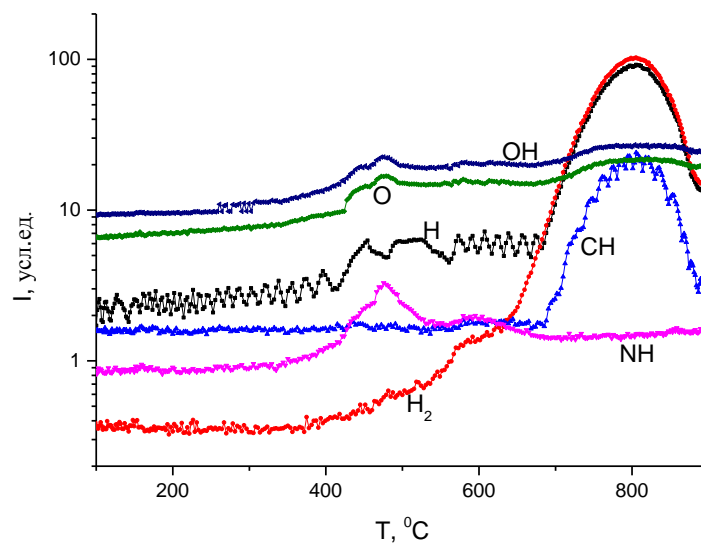


**Рис. 4.1.** Спектры термостимулированного выделения водорода (ТСГВ) из образцов титана, насыщенного в электролите.



**Рис. 4.2.** Спектры термостимулированного выделения водорода (ТСГВ) из образцов титана, насыщенного методами Сивеста.

Качественное (визуальное) сравнение кривых, принадлежащих одним и тем же молекулам и (или) атомам показывает, что:



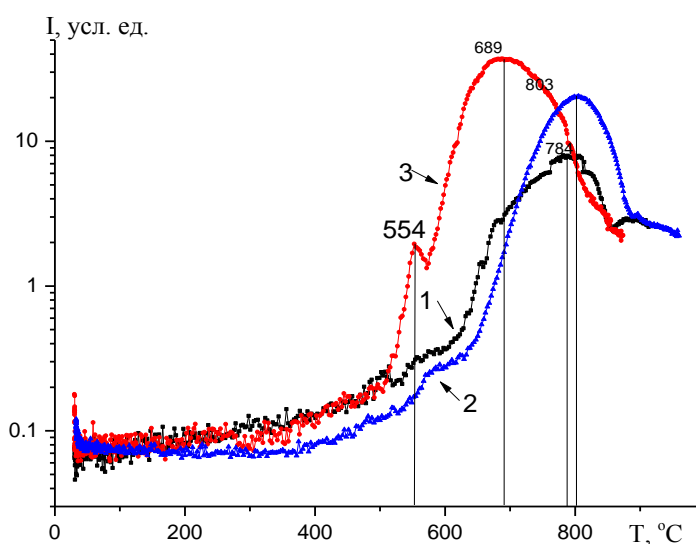
**Рис. 4.3.** ТСГВ  $H_2$ , O и других водород содержащих молекул из образцов титана, насыщенного в водородной плазме ВЧР.

а) интенсивности их выходов существенно различаются в зависимости от

способа насыщения, например, от 0,2 отн. ед. после насыщения методом Сивертса до 10 отн. ед., после насыщения в плазме;

б) величина выхода молекул по отношению к водороду также сильно различаются в зависимости от способа насыщения. Например, сразу понятно, что больше всего по отношению к водороду молекул выходит после насыщения в электролите.

Учитывая указанные отличия все кривые, представленные на рис. 4.1–4.3 были проинтегрированы по температуре с использованием опций ORIGIN, чтобы определить относительные (по отношению к водороду) величины выходов водород содержащих молекул CH, NH, OH и O<sub>2</sub>. Результаты интегрирования сведены в таблицах 4.1.



**Рис. 4.4.** Сравнения спектров ТСГВ водорода H<sub>2</sub> из титана VT1-0 после насыщения: 1 – из электролита 1М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 2 – из плазмы ВЧ-разряда, 3 – методом Сивертса.

На рисунке 10 сравниваются спектры ТСГВ H<sub>2</sub>, взятые из рисунков 4.1–4.3. Из рисунка видно, что величина выхода водорода в максимуме из образцов после разных способов насыщения лежит, примерно, в одном порядке. При этом, после насыщения методом максимум Сивертса в спектрах ТСГВ наблюдается 2 максимума (548 и 689 °С). В спектре после насыщения в электролите один максимум при 784 °С и после насыщения в плазме тоже один максимум при 803 °С. Заметим, что температуры в максимумах после плазмы и электролита очень близки, но далеки от тех, что наблюдаются после насыщения методом Сивертса.

#### 4.3.2. Сравнение интегральных выходов ТСГВ с результатами, полученными на установке RHEN602

Из таблиц 4.1 видно интеграл результата ТСГВ и отношение величин интегрального выхода. После обработки получен тот же результат из LECO.

**Таб. 4.1.** Интеграл результата ТСГВ после вертикального совмещения.

Интеграл	H <sub>2</sub>	CH	NH	O	OH
Электролит	5680	125	151	205	931
RHEN602	88.4ppm	-	-	-	-
Плазма2	6134	231	459	884	816
RHEN602	100.1ppm	-	-	-	-
Сиверст	7881	230	69	142	744
RHEN602	157.2ppm	-	-	-	-

Очевидно, что для анализа различий внедрения водорода в образец необходимо начинать с условий его поступления на поверхность. Определимся с этими условиями.

1. Поступление из электролита. Поступление водорода на поверхность из электролита происходит вследствие выделения водорода при поляризации и распаде молекул электролита по схеме  $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^-$ . так, что на поляризованной поверхности металла водород выделяется сразу в виде ионов (протонов), что способствует его дальнейшему проникновению в образец под действие градиента концентрации. При этом электрическое поле между анодом и образцом способствует более энергичному внедрению водорода в решетку металла.
2. При внедрении из водородной атмосферы при повышенных температуре и давлении (метод Сиверста), водород поступает на поверхность в виде молекул, которые под действием температуры и сил Ван-дер-Ваальса распадаются на атомы. После чего под действием градиента концентрации атомы диффундируют в объём образца.
3. Поступление из плазмы. Образец помещается в плазму в «подвешенном состоянии», то есть, он не заземлён и на него не подается напряжение. При этом, он размещается так, что поток плазмы, образующийся вследствие

непрерывной откачки вакуумной системы, непрерывно «омывает» поверхности нагретого образца. Нагрев образца при этом внешний (радиационный), так что температура нагревателя выше температуры образца. Образующиеся в плазме под действием высокочастотного поля ионы (протоны) и свободные электроны ведут себя по-разному. Электроны, по-видимому, устремляются к заземленным частям плазменного реактора, а ионы и атомы под действие градиента температуры устремляются к поверхности образца и захватываются её дефектами. Далее, под действие градиентов концентрации и температуры, диффундируют в объём.

### **Выводы**

1. В спектрах ТСГВ после насыщения методом Сивертса наблюдается наименьшее из трех методов содержание водородсодержащих молекул  $\text{NH}$ , и кислорода  $\text{O}$ ,  $\text{OH}$ ; после насыщения в электролите наименьшее содержание  $\text{CH}$ .
2. После насыщения в плазме наибольшее содержание  $\text{NH}$ ,  $\text{O}$  и  $\text{OH}$ , по-видимому это связано с выделением  $\text{O}$  (и, возможно,  $\text{N}$ ) из кварцевой трубки, которая служит корпусом плазменного реактора, под воздействием температуры и высокочастотного напряжения.
3. Ловушки водорода, создающиеся при насыщении из плазмы и электролита имеют одинаковую природу, отличающуюся от создающихся при насыщении методом Сивертса.
4. Для электролитического и плазменного насыщения характерен захват водорода ловушками с более высокой температурой в максимуме спектров ТСГВ (или с большей энергией связи), чем при насыщении методом Сивертса (точечные дефекты и их комплексы, дислокации с их различными модификациями, мДля электролитического и плазменного насыщения характерен захват водорода ловушками с более высокой температурой в максимуме спектров ТСГВ (или с большей энергией связи), чем при

насыщении методом Сиверта (точечные дефекты и их комплексы, дислокации с их различными модификациями, межзеренные границы, примесные атомы и др.).

5. Для метода Сиверта характерен захват на низкотемпературные ловушки, создающиеся, по-видимому, в процессе насыщения (вакансии и вакансионные кластеры).
6. Процесс накопления водорода в образцах титана существенно зависит от способа введения водорода и от среды, в которой осуществляется насыщение межзеренные границы, примесные атомы и др.).
7. Для метода Сиверта характерен захват на низкотемпературные ловушки, создающиеся, по-видимому, в процессе насыщения (вакансии и вакансионные кластеры).
8. Процесс накопления водорода в образцах титана существенно зависит от способа введения водорода и от среды, в которой осуществляется насыщение.

## **Глава 5. Социальная ответственность**

Рассмотрев многие чрезвычайные ситуации, которые происходят на предприятиях, заводах, когда занимают своими научными исследованиями, нам необходимо обратить внимание на обеспечение безопасности рабочих мест, а также на предотвращение возможных опасных и вредных ситуаций.

В основе выпускной квалификационной работы по теме влияние подслоя углерода и титана на свойства структуры AlN/Si и её сорбцию водорода лежит использование вакуумное ионно-плазменное оборудование и ионной мощный ускоритель для модификации используемых образцов, а также использование магнетронное оборудование для нанесения покрытия. В соответствие с этим, данная глава предполагает рассмотрение правил безопасной работы при выполнении основных этапов обработки имплантаций ионов на образцы, нанесения покрытий, а также их последующих испытаний. Рассмотрены условия работы с установкой, выделены опасные и вредные производственные факторы, а также существующие средства и методы защиты, описаны организационные и технические мероприятия, проводимые перед началом работы.

### **5.1. Вредные факторы проектируемой производственной среды**

При проведении научных работ на разных установках возможно существуют следующие вредные факторы:

1. Производственный шум.
2. Микроклимат.
3. Освещенность.

#### **5.1.1. Производственный шум**



Имплантация титана осуществлялась на установке «Радуга-Спектр», одними из основных частей которой являются форвакуумный и турбомолекулярный насосы, создающие производственный шум. Воздействие шума в первую очередь влияет на органы слуха, нервную и сердечнососудистую системы. В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 допустимый уровень шума при сосредоточенной умственной работе составляет 75 дБ. По ГОСТ 12.4.026, уровень или эквивалентный уровень звука в зоне не должен превышать 80 дБ чтобы обеспечить нормальные работы в данный в данном месте. Рекомендуются следующие средства коллективной защиты: акустические экраны, выгородки, объемные поглотители звука, виброизолирующие опоры; средства индивидуальной защиты: специальные наушники, вкладыши в ушную раковину, противо- шумные каски.

#### 5.1.2. Микроклимат

При работе установки включены нагревание рабочей камеры и соответствующие охлаждающие системы, которые вызывают изменение микроклимата в соответственных рабочих местах. Существуют характеризующие микроклимат следующие параметры:

1. температура воздуха;
2. температура поверхности установки;
3. скорость движения воздуха;
4. относительная влажность воздуха в микроклимате;

В данном научном исследовании, выполняемые работы относятся к Ib категории работ. К данной категории относятся работы с интенсивностью энергозатрат в диапазоне 121–150 ккал/ч, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением.

Температура наружных поверхностей технологических установок, ограждающих устройств, с которыми соприкасается в процессе труда человек, не должен превышать 45 °С.

В следующей таблице показаны оптимальные величины показателей в рабочем месте.

**Таб. 5.1.** Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.

Период года	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
холодный	20–23	40–60	0,15
теплый	21–24	40–60	0,15

Чтобы обеспечить оптимальные условия в рабочем месте, можно применять кондиционер, который позволяет поддерживать величины показателей микроклимата постоянными, оптимальными, и не зависимо от меняющихся условий.

В холодное время года в целях поддержания в рабочем месте оптимальной температуры воздуха и относительно влажности воздуха можно использовать отопление.

### 5.1.3. Расчет искусственной освещенности

Освещение оказывает влияние на работоспособность, безопасность труда, эффективность выполнения работы. Соответственно правильно спроектированное освещение является неотъемлемой частью данной главы. Чтобы рассчитать искусственного освещения, необходимо привести определение требуемой мощности электрической осветительной установки в целях создания заданной освещённости.

При работе с установкой «Радуга-спектр» не требуется освещения высокой точности, поэтому допускается применение системы общего равномерного освещения. Для общего освещения применяются газоразрядные лампы: дневные (ЛД), холодно-белые (ЛХБ), тепло-белые (ЛТБ) и белые (ЛБ) лампы. Для освещения помещения используются светильники ламп холодно-белых типа ОД (мощность 15 Вт).

Высота лаборатории:  $H = 3600$  мм. Расстояние светильников от перекрытия:  $h_c = 290$  мм. Высота светильника над полом, высота подвеса:

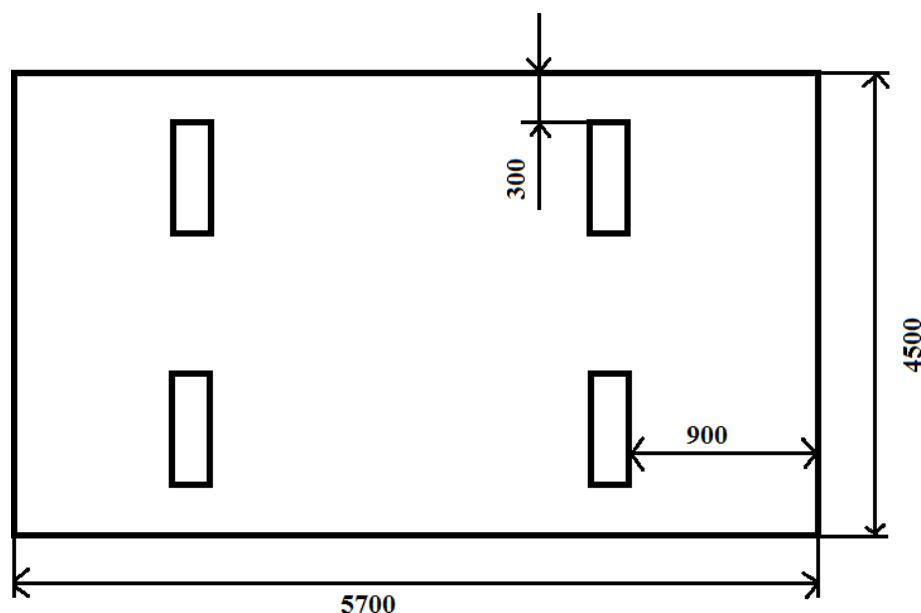
$$h_n = H - h_c = 3600 - 290 = 3390, \quad (5.1)$$

Высота рабочей поверхности над полом:  $h_{rp} = 800$  мм.

Расчетная высота, высота светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_n - h_{rp} = 3390 - 800 = 2590, \quad (5.2)$$

Для двухламповых светильников ОД при одиночной установке или наименьшая допустимая высота подвеса над полом составляет 3,5 м. Рассчитанная величина  $h = 2590$  мм не соответствует требованиям. Схема положения светильников представлена на следующем рисунке.



**Рис. 5.1.** Схема положения светильников в лаборатории.

Чтобы создать благоприятные зрительные условия на рабочем месте, необходимо использовать двухламповые светильники ШЛД или ШОД (наименьшая допустимая высота подвеса над полом: 2,5 м).

Расстояние между соседними светильниками:  $L = 3,9$  м; Расстояние от крайних светильников до стены:  $l = 1,2$  м.

Расстояние от крайних светильников до стены является практически оптимальным, так как рекомендуемая величина равна

Интегральный критерий оптимальности расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$ . В самом выгодном случае, величина оптимальности расположения должна составлять 1,4 м.

Соответственно, оптимальное расстояние между светильниками  $L$  рассчитать следующим образом:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,6 = 3,64 \text{ м}, \quad (5.3)$$

Теперь можно рассчитать общее равномерное искусственное освещение горизонтальной рабочей поверхности выполняется, используя метод коэффициента светового потока, который показан следующей формулой:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 25 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{4 \cdot 0,49} = 4209 \text{ Лм}, \quad (5.4)$$

где нормируемая минимальная освещенность (по СНиП 23-05-95):  $E_n = 200$  лк (разряд зрительной работы VI: очень малой точности); площадь освещаемого освещения:  $S = 25 \text{ м}^2$ ; коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника, наличие в атмосфере дыма, пыли:  $K = 1,5$  (помещение с малым выделением пыли); коэффициент неравномерности освещения:  $Z = 1,1$  (для люминесцентных ламп); число ламп в помещении:  $N = 4$ ; коэффициент использования светового потока:  $\eta = 0,49$ .

Расчет искусственного освещения показал, что световой поток от 4 ламп 4209 Лм.

## 5.2. Выявление опасных факторов проектируемой производственной среды

В процессе проведения исследования, возможно воздействуют следующие опасные производственные факторы:

1. Электрическое напряжение.
2. Пожар взрывоопасность.

### 5.2.1. Электро-безопасность

Неисправность проводки установки может стать причиной поражения электрическим током. Прохождение тока может вызывать у человека раздражение и повреждение различных органов. Пороговый не отпускающий ток составляет 50 Гц (6–16мА). Защита от воздействия электрического тока осуществляется путем проведения организационных, инженерно- технических и лечебно-профилактических мероприятий.

Электробезопасность должна обеспечиваться конструкцией электроустановок, техническими способами и средствами защиты. Электроустановки и их части выполнены таким образом, чтобы работающие не подвергались опасным и вредным воздействиям электрического тока и электромагнитных полей, и соответствовать требованиям электробезопасности.

Для предотвращения поражения электрическим током следует проводить следующие мероприятия:

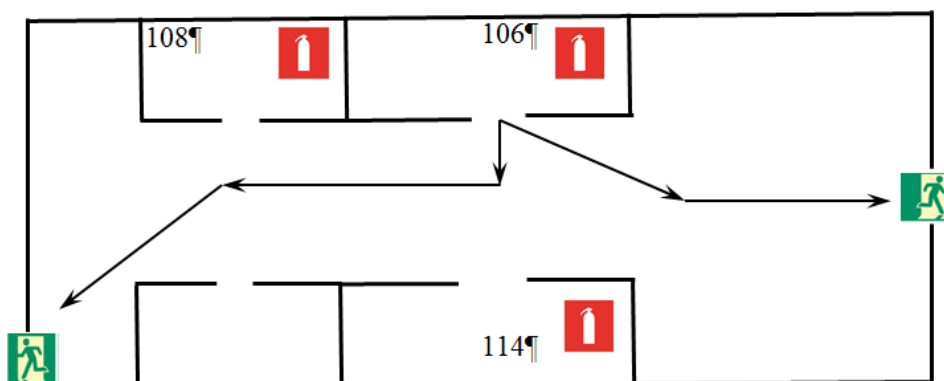
1. содержать оборудование в работоспособном состоянии и эксплуатировать его в соответствии с нормативно-техническими документами;
2. своевременно проводить техническое обслуживание;
3. соблюдать технику безопасности при работе с оборудованием;
4. проводить инструктаж для работников.

В качестве мероприятий по обеспечению безопасности работы с электрооборудованием могут быть использованы:

1. изоляция токоведущих частей;
2. малое напряжение в электрических цепях;
3. защитное заземление, зануление, защитное отключение;
4. применение разделяющих трансформаторов;
5. защитные средства и предохранительные приспособления.

#### 5.2.2. Пожар взрывобезопасность

Используемое помещение относится к категории Г согласно пожарной и взрывопожарной опасности, так в данном помещении расположены горючие легко воспламеняемые материалы, также баллоны с газами. Помещение, в котором находится установка, оснащено аварийными выходами, обеспечено средствами пожаротушения, сигнализацией оповещения пожара. План эвакуации представлен на рисунке 5.2.



**Рис. 5.2.** План эвакуации рабочих помещений.

Работники допускаются к работе только после прохождения инструктажа о мерах пожарной безопасности, во всех помещениях вывешены таблички с указанием номера телефона вызова пожарной охраны и таблички с направлением пути эвакуации и план эвакуации.

В лаборатории расположены огнетушители порошковые ОП-4(з)- АВСЕ-02 (предназначен для тушения твердых, жидких и газообразных веществ и

электроустановок до 1000 вольт).

Причинами возникновения пожара могут быть:

1. Курение в запрещённых местах;
2. Неправильное хранение возгорающихся веществ.
3. Перегрузка электрических сетей;
4. Нарушение правил эксплуатации электрического оборудования;
5. Нарушение правил пожарной безопасности;

Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, находящихся под высоким давлением описаны. В целях безопасности, выполнены общие правила эксплуатации баллонов:

1. Баллоны установлены вертикально и надёжно закреплены в таком положении металлическим хомутом, а также защищены от падения на них сверху каких либо предметов.

2. Баллоны с газом, устанавливаемые в помещении находятся от радиаторов отопления и других отопительных приборов на расстоянии не менее 1 метра и от печей и других источников тепла с открытым огнем не менее 5 метров. При невозможности выдержать необходимое расстояние, необходимо применять защитные экраны, предохраняющие баллоны от местного разогрева, располагая баллон не ближе 0,1 м от экрана. Установленные баллоны также необходимо предохранять от действия солнечных лучей.

3. Выпуск газов из баллона производится через редуктор, предназначенный исключительно для данного газа и окрашенный в соответствующий цвет. Камера низкого давления редуктора имеет манометр и пружинный предохранительный клапан, отрегулированный на соответствующее давление в емкости; во всех случаях открывать и закрывать вентиль баллона необходимо медленно.

### 5.3. Охрана окружающей среды

В настоящее время одним из важных вопросов в любой сфере деятельности является вопрос экологичности. В обществе происходит изменение предпочтений потребителей в пользу экологически чистой продукции и товаров, которые сами не загрязняют окружающую среду, и производство которых является безвредным.

Экологичность отхода представляет собой способность отхода не оказывать отрицательного воздействия на окружающую среду за пределами допустимых значений.

В данной работе отходами являются металлические порошки, полученные вследствие чистки камеры и других компонентов установки.

Утилизация металлических отходов состоит из нескольких технологических операций, включающих в себя:

1. демонтаж конструкций и сбор металлических отходов;
2. транспортировку отходов на перерабатывающее предприятие;
3. проверка металлических отходов (в т.ч. дозиметрическая);
4. отделение отходов чёрных металлов от отходов цветных металлов;
5. отделение различных примесей неметаллического характера;
6. заключительный контроль отходов;
7. переработка.

#### 5.4. Защита в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) представляет собой обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. ЧС бывают техногенные и



природные. Техногенные чрезвычайные ситуации вызваны производственной деятельностью человека, в то время как природные ЧС возникают по причине природных явлений и процессов. Так, к техногенным чрезвычайным ситуациям относятся пожары и взрывы на производстве, аварии с выбросом химически опасных или радиоактивных веществ и т.д. Природные ЧС могут возникнуть ввиду наводнения, заморозка, урагана и т.д. Рассмотрим две наиболее типичных чрезвычайных ситуации, которые могут произойти на предприятии.

Один из нескольких случаев является остановкой производства в результате сильных морозов.

Меры по предупреждению ЧС:

Повышение устойчивости системы электроснабжения. В первую очередь целесообразно заменить воздушные линии электропередач на кабельные (подземные) сети, использовать резервные сети для запитки потребителей, предусмотреть автономные резервные источники электропитания объекта (передвижные электрогенераторы).

Использование запасных автономных источников теплоснабжения, заглубления теплотрасс.

Обеспечение устойчивости систем водоснабжения (устройство дублирования водопитания, кольцевание системы, заглубление водопроводов, обустройство резервных емкостей и водохранилищ, очистка воды от вредных веществ и т.п.).

Обеспечение устойчивости системы водоотведения. Повышение устойчивости системы канализации достигается созданием резервной сети труб, по которым может отводиться загрязненная вода при аварии основной сети. Насосы, используемые для перекачки загрязненной воды, комплектуются надежными источниками электропитания.

## 5.5. Правовые вопросы обеспечения безопасности

К работе на установке «Радуга-спектр» допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие обучение безопасности труда и инструктаж на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний, норм и правил работы с электроустановками, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы на установке, имеющие не менее III группы по электробезопасности.

По данной теме рассматриваются следующие законодательные и нормативные документы:

ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы.

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 28.12.2013).

СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение". Утв. постановлением Минстроя РФ от 2 августа 1995 г. N 18-78.

СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Минздрав России, Москва. – 1996.

СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Минздрав России, Москва. – 1997.

Федеральный закон Российской Федерации от 21.12.1994 N 69-ФЗ (ред. от 12.03.2014) "О пожарной безопасности".

Федеральный закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

## **Глава 6. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсоснабжение**

Чтобы нормально провести данное научное исследование и закончить во времени, при выборе тему, надо оценить актуальность данной темы, т.е. перспектив и потенциал вашего исследования; необходимо за ранее планировать прохождения целой работы. Для финансового обеспечения нужно провести расчет бюджета.

В данной главе, будем оценить коммерческих перспективности и потенциала для данного научного исследования, планировать целых работ, а также провести расчет бюджета, который необходим для выполнения данной работы.

### **6.1. Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурс эффективности и ресурсосбережения**





#### **6.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**




Чтобы анализировать потребитель результатов исследования, один из несколько необходимых этапов является рассмотрению целевого рынка и проведению его сегментирования.

Целевой рынок является сегментами рынка, на котором в будущем будут продать разработку. В свою очередь, сегмент рынка является особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

В нашей работе, можем сегментировать рынок услуг по исследованию новых материалов для детектирования водорода, по следующим критериям: размер компании-заказчика, тип кампании.

**Таб. 4.1.** Карта сегментирования по типу компании

		Тип компании		
		нефтепромышленность	металлургия	авиастроение
Размер компании	Крупные			
	Средние			
	Мелкие			

 – Фирма А;  
 – Фирма Б;  
 – фирмы В.

#### 6.1.2. Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

1. технические характеристики разработки;
2. конкурентоспособность разработки;
3. уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа и т.п.);
4. бюджет разработки;
5. финансовое положение конкурентов, тенденции его изменения и т.д.

Таблица 6.2 показывает оценочную карту для сравнения конкурентных технических решений. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырех конкурентных товаров и разработок. Анализ конкурентных технических решений можно рассчитать следующим образом:

$$K = \sum B_i \cdot B_i \quad (6.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В данной работе, наилучший вариант для пробора детектирования водорода является система тонких пленок с подслоем углерода, т.е., структура AlN/C/Si, а сейчас широко используются структуры с подслоем титана, т.е. AlN/Ti/Si, или Al/AlN/Si. Здесь K1 – структура AlN/Ti/Si, K2 – структура Al/AlN/Si.

**Таб. 6.2.** Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений.

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда пользователя	0,02	3	4	4	0,06	0,06	0,08
2. Удобство в эксплуатации	0,03	5	4	3	0,15	0,12	0,09
3. Энерго-экономичность	0,04	5	3	2	0,20	0,12	0,08
4. Надежность	0,09	5	4	5	0,45	0,36	0,45
5. Уровень шума	0,06	4	3	4	0,24	0,18	0,24
6. Безопасность	0,10	5	2	4	0,50	0,20	0,40
7. Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,06	4	5	3	0,24	0,30	0,18
8. Простота эксплуатации	0,05	5	4	2	0,25	0,20	0,10
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0,10	3	3	4	0,30	0,30	0,40
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,06	4	5	3	0,24	0,30	0,18
2. Уровень проникновения на рынок	0,06	5	2	4	0,30	0,12	0,24
3. Цена	0,06	4	3	5	0,24	0,18	0,30
4. Предполагаемый срок	0,06	4	3	3	0,24	0,18	0,18
5. Финансирование научной разработки	0,08	3	5	4	0,24	0,40	0,32
6. Срок выхода на рынок	0,05	5	2	3	0,25	0,10	0,15
7. Наличие сертификации разработки	0,08	4	5	2	0,32	0,40	0,16

Итого	1	68	52	55	4,16	3,46	3,47
-------	---	----	----	----	------	------	------

Из таблицы видно, что структура, исследованная в данной работе, лучше других вариантов структуры. По сравнению с другими структурами, она является самым конкурентно способным вариантом.

## 6.2. Планирование научно-исследовательских работ

### 6.2.1. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется по следующей очереди:

1. определение структуры работ в рамках научного исследования;
2. определение участников каждой работы;
3. установление продолжительности работ;
4. построение графика проведения научных исследований.

Чтобы выполнить научную работу формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные руководители, инженеры и студенты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В таблице 6.3 предвидены перечень этапов и работ в рамках проведения данного научного исследования и распределение исполнителей по видам работ.

**Таб. 6.3.** Перечень этапов, работ и распределение пользователей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент

исследований	3	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Подготовка образцов к эксперименту	Студент
	5	Обработка образцов: имплантации и нанесения покрытия	Инженер
	6	Проведение исследования Рамановской спектроскопией	Инженер
	7	Проведение измерения электрофизические свойства	Инженер
	8	Проведение экспериментов насыщения водородом	Инженер
	9	Проведение анализа концентрации водорода	Инженер
	10	Обработка результатов	Студент
	11	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Студент
	12	Оценка эффективности полученных результатов	Студент
Обобщение и оценка результатов	13	Определение целесообразности проведения ОКР	Руководитель
	14	Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Студент
Оформление отчета	15	Написание отчета	Студент

### 6.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (6.2)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы;  
 $t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы;  
 $t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дн.

Тогда, можно учитывать продолжительность каждой работы в  $T_p$  в рабочих днях по следующей формуле:

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (6.3)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 6.2.3. Разработка графика проведения научного исследования

Чтобы выполнить каждый этап целой работы удобным и наглядным, часто нужно построить ленточного графика в форме диаграммы Ганта. Это горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, которые особенны датами начала и



окончания выполнения данных работ.

Чтобы удобно построить график, надо перевести единицу измерения длительности каждого пункта работы из рабочих дней в календарные дни, используя следующую формулу:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  
 $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (6.5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году. Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  необходимо округлить до целого числа. Например,  $k_{\text{кал}} = 365 / (365 - 66) = 1,22$ .

Таблица 6.4 показывает временные показатели проведения научного исследования.

**Таб. 6.4.** Временные показатели проведения научного исследования.

Название работы	Исп.	Трудоемкость			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
		$t_{\text{min}}$ , чел-дни	$t_{\text{max}}$ , чел-дни	$t_{\text{ож}}$ , чел-дни		
Составление и утверждение технического задания	Р	5	10	7	7	9
Подбор и изучение материалов по теме	С	10	14	12	12	15
Календарное планирование работ по теме	Р	3	6	4	4	5
Подготовка образцов к эксперименту	С	1	3	2	2	3




Обработка образцов: имплантация	И	10	20	14	14	15
Проведение исследования состава поверхности	И	5	15	9	9	10
Рамановской спектрометрией						
Обработка образцов: нанесение покрытия	И	10	20	14	14	16
Проведение измерения электрофизические свойства	И	5	15	9	9	10
Проведение экспериментов по насыщению водородом	И	5	7	6	6	7
Проведение анализа концентрации водорода	И	7	14	10	10	11
Обработка результатов	С	50	70	58	58	60
Сопоставление результатов эксперимента с теоретическими исследованиями	С	30	40	58	58	71
Оценка эффективности полученных результатов	Р+ С	50	70	58	29 (Р: 15; С: 25)	35
Определение целесообразности проведения ОКР	С	60	80	68	68	75
Составление пояснительной записки	Р+ С	70	90	78	39 (Р: 20; С: 39)	48

Диаграмма Ганта строится в виде таблицы 6.5 с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей,

ответственных за ту или иную работу.

**Таб. 6.5.** Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Название работ	Исполнители	Т <sub>кал.</sub> , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ									
			фев.		мар.		апр.		май.		июн.	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Составление и утверждение технического задания	Р	9	■									
Подбор и изучение материалов по теме	С	15	■	■								
Календарное планирование работ по теме	Р	5		■								
Подготовка образцов к эксперименту	С	3		■								
Обработка образцов: имплантация	И	15		■	■	■						
Проведение исследования состава поверхности Рамановской спектроскопией	И	10			■	■						
Обработка образцов: нанесение покрытия	И	16			■	■	■	■				
Проведение измерения электрофизические свойства	И	10				■	■	■				
Проведение экспериментов по насыщению водородом	И	7					■	■				
Проведение анализа концентрации водорода	И	11						■	■	■		
Обработка результатов	С	60			■	■	■	■	■	■		
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	С	71			■	■	■	■	■	■		
Оценка эффективности полученных результатов	Р+ С	35						■	■	■		
Определение целесообразности проведения ОКР	С	75			■	■	■	■	■	■		
Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации)	Р+ С	48					■	■	■	■		

 – научный руководитель;  
 – инженер;  
 – студент.

### 6.3. Бюджет научного исследования

#### 6.3.1. Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$З_{\text{м}} = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (6.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{\text{расх}i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

**Таб.6.6. Материальные затраты**

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Цена, руб.	Затраты на материалы, руб.
Основные материалы					
Образцы кремния КЭФ(100)	Шт.	3	15,3	45,9	52,8
Вспомогательные материалы					
Коробка для сохранения образцов	Шт.	1	50	50	57,5
Спирт	Литр	0,2	140	28	32,2
Дополнительные материалы					
Халат	Шт.	1	630	630	724,5
Итого:	867				

### 6.3.2. Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, и дополнительную заработную плату. Заработная плата рассчитывается по формуле 6.7:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (6.7)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата;  $З_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $З_{осн}$ ) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по формуле 6.8:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p, \quad (6.8)$$

где  $З_{осн}$  – основная заработная плата одного работника;  $T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;  $З_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 6.9:

$$З_{дн} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}, \quad (6.9)$$

где  $З_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при шестидневной неделе  $M=10,4$ );  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала ( $F_d=251$ ).

$$З_m = З_{ТС} \cdot k_p, \quad (4.10)$$

где  $З_{ТС}$  – заработная плата согласно Положению по оплате труда;  $k_p$  – районный коэффициент ( $k_p = 1.3$  для Томска). Пример расчета основной заработной платы:

Исправить дни для студента, инженера и для ководителя Для студента:

$$З_{1M} = 9874,45 \times 1,3 = 12836,79,$$

$$З_{1дн} = 12836,79 \times 10,4 \div 251 = 531,88,$$

$$З_{1осн} = 531,88 \times 87 = 46273,56;$$

Для инженеров:

$$З_{2М} = 14874,45 \times 1,3 = 19336,79 ,$$

$$З_{2ДН} = 19336,79 \times 10,4 \div 251 = 801,21,$$

$$З_{2ОСН} = 801,21 \times 30 = 24036,30 ;$$

Для научного руководителя:

$$З_{3М} = 33162,87 \times 1,3 = 43111,73,$$

$$З_{3ДН} = 43111,73 \times 10,4 \div 251 = 1786,3$$

$$З_{3ДН} = 1786,30 \times 32 = 57161,69 .$$

### 6.3.3. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot (З_{осн} + З_{доп}) , \quad (6.12)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды ( $k_{внеб} = 0,27$ ). Например (для руководителя):

$$C_{зввне} = 0,27 \times (46984,96 + 0) = 15433,66$$

Расчеты заработной платы каждого исполнителя для выполнения работы приведены в таблице 6.7.

**Таб. 6.7.** Расчет заработной платы исполнителей.

Исполнители	Т <sub>кл.</sub> дни.	З <sub>дн</sub> , руб.	З <sub>осн</sub> , руб.	С <sub>вне</sub> , руб.
Руководитель	32	531,88	57161,69	15433,66
Инженер	30	801,21	24036,30	5768,71
Студент	98	1786,30	46273,56	12493,86
Итого: 127472руб.				

### 6.3.4. Накладные расходы

Расчеты затрат на оборудования и электроэнергию представлены на таблице 6.8. (Тариф 5,8 руб за 1 кВт.ч).

**Таб. 6.8.** Расчеты затрат на оборудования и электроэнергию.

№.	Наименование оборудования	Время использования оборудования, ч	Мощности оборудования, кВт.	Цена использования оборудования, руб./ч.	Сумма, руб.
1	Устройства «Радуга-спектр»	3,0	50	300	1770
2	Ускоритель «ТЕМП-4М»	6,0	80	600	6384
3	Устройства магнетронного распыления	2,5	35	400	1508
4	Рамановский спектроскоп	3,0	0,3	300	905
5	Gas Reaction Controller	1,5	1,8	200	316
6	Газоанализатор а RHEN602 фирмы LECO	3,0	0,5	200	609
Итого: 11492 руб.					

#### 6.3.5. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Данные Расчет бюджета затрат в результате проведения научно-исследовательской работы представлен в таблице 6.9.

**Таб. 6.9.** Бюджет затрат

Наименование статьи	Сумма, руб
Материальные затраты	867
Специализированное оборудование	0
Затраты на научные и производственные командировки	0
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	127472
Отчисления во внебюджетные фонды	34417
Затраты на оборудования и электроэнергию	11492
Бюджет затрат	174248

По данной работе нет дополнительного заработной платы, не было затрат на научные и производственные командировки, также не закупалось специализированное оборудование. Таким образом, была произведена калькуляция затрат необходимых для выполнения НИОКР, которые составили 174248 рублей.



### Список использованных источников

1. Хашхаш А.М., Сигфуссон Т.И., Кудрявцева Е.Н., Смекалина Т.В., Хоружий В.Д., Сыпченко В.С., Тюрин Ю.И., Чернов И.П. Исследование особенностей поглощения водорода сталью 12Х12М1БФР при электролитическом, плазменном и высокотемпературном под давлением способах насыщения. Известия ТПУ, 2011, том.318, №2, с. 97–100.
2. Сыпченко В.С. Диссертация канд физ.-мат.-наук. 2015. -130 с.
3. Баумбах Х., Крениг М., Тюрин Ю.И., Чернов И.П., Черданцев Ю.П. Неравновесные система металл-водород. Титан, нержавеющая сталь. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та. 2002. – 350 с.
4. Кудияров В.Н., Лидер А.М., Пушилина Н.С., Кренинг Х.В. Особенности распределения водорода в титане ВТ1-0 в зависимости от способа насыщения: электролитическим способом и методом Сивертса // Альтернативная энергетика и экология, 2012. – №. 11. – С. 10-15.
5. Андриевский Р.А. Материаловедение гидридов. М: Металлургия, 1986. – 128 с.
6. Гапонцев А.В., Кондратьев В.В. Диффузия водорода в неупорядоченных металлах и сплавах// Успехи физических наук. 2003. – Т. 173. – №10. – С. 1107 – 1129.
7. Сыпченко В.С., Никитенков Н.Н., Кудрявцева Е.Н., и др. Особенности плазменного насыщения нанокристаллических и крупно-кристаллических образцов титана водородом и дейтерием // Известия РАН. Серия физическая – М. 2012. – Т.76 – №6. – С. 803– 806
8. Колобов Ю.Р., Валиев Р.З., Грабовецкая Г.П. и др. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов. Новосибирск. Наука. – 2001. – 232 с.

9. Schlapbach L. Ed. Hydrogen in Intermetallic Compounds // Topics in Applied Physics. – Berlin: Springer-Verlag, 1992. – V. 67.–P. 197.
10. Гапонцев А. В. Анализ процессов диффузии водорода в металлах и сплавах с кристаллическим беспорядком: автореф. дис. канд. ф.-м. н. – Екатеринбург, 2003.– 24 с.
11. Horvath J. Diffusion in nanocrystalline materials // Defects and Diffusion, 1989. – P. 66-69.
12. Лариков Л.Н. Диффузионные процессы в нанокристаллических материалах // Металлофизика и новейшие технологии, 1995. – Т. 17. – №1.Т.17, – С. 3 – 31.
13. Nikitenkov N.N., Tyurin Yu.I., Sigfusson T.I., Kudryavtseva E.N., Sypchenko V.S., Dushkin I.V., Khoruzhii V.D., Grabovetskaya G.P., Stepanova E.N., 114 Chistyakova N.V. Features of the Plasma Saturation of Nanocrystalline and Coarse-Crystalline Titanium Samples with Hydrogen and Deuterium// Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2012. – V.76. –№6. – p. 803– 806.
14. Степанова Е.Н., Грабовецкая Г.П., Мишин И.П., Сыпченко В.С., Мельникова Т.Н., Мазыкин А.А. Формирование ультрамелкозернистого состояния в сплаве Zr–1Nb методом, сочетающим обратимое легирование водородом и горячую пластическую деформацию // Известия высших учебных заведений «Физика», 2014. – Т. 57. – № 11/2. – С. 140-145.
15. Valiev R.Z., Korznikov A.V., Mulyukov R.R. Structure and Properties of Ultrafine-Grained Materials Produced by Severe Plastic Deformation. Mater. Sci. Eng. A168:1993. – P. 141–148.
16. Андриевский Р.А., Глезер А.М. Физ. мет.и металловедение. 1999. Т. 88. № 1. С. 50–73. – 200. – Т.89. – № 1. – С. 91–112.
17. Kirchheim R., Sommer F., Schluckebier G. Hydrogen in amorphous metals I // Acta Metal, 1982. – V.30. – №6. – P.1058 –1068.
18. Jaggy F, Kieninger W, Kirchheim R, in Metal-Hydrogen Systems. Munchen: R. Oldenbourg-Verlag, 1988. – V.1. – P. 431

19. Zou J. X. , Grosdidier T., Chuang K. , Dong Z. Mechanisms of nanostructure and metastable phase formations in the surface melted layers of a HCPEB- treated D 2 steel // *ActaMaterialia*, 2006. – V. 54. – №. 20. – P. 5409 –5419.
20. Галактионова Н.А. Водород в металлах. – М.:Металлургиздат,1967 г. – 302с.
21. Вяткин А., Престинг Х., Старков В., Кoenиг С., Конле И., Кениг У. Палладиевая мембрана на основе макропористого кремния для сепарации водорода из топливной смеси в процессе риформинга // *Альтернативная энергетика и экология*, 2004. – № 3. – С. 46 – 49.
22. Черданцев Ю.П.,Чернов И.П.,Тюрин Ю.И. Методы исследования систем металл-водород. Издательство ТПУ, 2008. -286 с.
23. Никитенков Н.Н., Тюрин Ю.И., Чернов И.П. и др. Исследования накопления водорода в циркониевом сплаве методом термостимулированного газовыделения // *Известия Томского политехнического университета*. – 2006. – Т. 309. – № 4. –С. 52–55.
24. RHEN602. Определение общего и поверхностного водорода методом плавления в атмосфере инертного газа. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.leco-europe.com/product/rhen602/> , свободный. – Загл. с экрана
25. A. M. Hashkhash, I. A. Shulepov, V. D. Khoruzhii, Yu. I. Tyurin, I. P. Chernov, and E. N. Kudryavtseva. A Plant for Studying Radiation and Thermal Desorption of Gases from Inorganic Materials // *Instruments and Experimental Techniques*, 2009, Vol. 52, No. 6, pp. 865–870
26. Вудраф Д., Делчар Т. Современные методы исследования поверхности. – М.: Мир,1989. 540 с/
27. Никитенков Н.Н., Хоружий В.Д.. Исследование выхода изотопов водорода методами термо-газо-выделения. // методические указания к лабораторным работам Томск: ТПУ. – 2008, 49 с.
28. V. S. Sypchenko, N. N. Nikitenkov, T. I. Sigfusson, Yu. I. Tyurin, E. N. Kudryavtseva, A. M. Khashkhash, I. P. Chernov, and V. D. Khoruzhii. Features of

Hydrogen Accumulation in Metals during Saturation in Plasma, Electrolyte, and Hydrogen under Pressure. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2012, Vol. 76, No. 6, pp. 712–715.